

REKLIM

REKLIM - Helmholtz-Verbund Regionale Klimaänderungen

| AWI | DLR | FZJ | GEOMAR | GFZ | HMGU | HZG | KIT | UFZ |

ALFRED-WEGENER-INSTITUT Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
 DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT
 FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH
 GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
 HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM Deutsches GeoForschungsZentrum
 HELMHOLTZ-ZENTRUM MÜNCHEN Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt
 HELMHOLTZ-ZENTRUM Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung
 KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE
 HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR UMWELTFORSCHUNG

HELMHOLTZ
 SPITZENFORSCHUNG FÜR
 GROSSE HERAUSFORDERUNGEN

REKLIM
 Helmholtz-Verbund
 Regionale Klimaänderungen

KLIMAWANDEL VOR UNSERER HAUSTÜR

Wie sich unser Leben
heute bereits verändert



DÜRRE
 Dem Boden geht
 das Wasser aus

STÜRME
 Wenn das Gefühl
 täuscht

MEERESSPIEGEL
 Grönlands Eismassen
 auf der Waage

regional forschen

Klimaprozesse verstehen

für die Menschen an Schnittstellen arbeiten

interdisziplinär arbeiten anwendungsbezogen

gesellschaftsrelevant sein

Verbund leben

Neugierde wecken

über den Tellerrand **Gemeinschaft schaffen**

Querdenken fördern Synergien nutzen

zentrenübergreifend

Dialog führen Wissen anwenden

Erkenntnisse „übersetzen“ zuhören

Vermittlungsformate entwickeln

sich austauschen *Nutzer einbinden*

Fragen beantworten

Supercomputer Forschungsschiffe

Forschungsflugzeuge

Satelliten Labore Langzeitobservatorien

autonome Messsysteme Modelle

Daten und Software



REKLIM

AWI • DLR • FZJ
GEOMAR • GFZ
HMGU • HZG
UFZ • KIT



46

HOCHWASSER
Lehren aus der Vergangenheit: So sorgt Sachsen heute vor

04

DÜRRE
Dem Boden geht das Wasser aus

40

BILDUNG
#klimafit - der innovative Klimakurs für jedermann

26

STÜRME
Wenn das Gefühl täuscht

INHALTSVERZEICHNIS

02 | **Inhaltsverzeichnis**

04

DÜRRE
Sternenstaub macht Bodenfeuchte messbar

12

UMWELTDATEN
TERENO-Observatorien setzen neue Maßstäbe

16

BÖDEN IM KLIMAWANDEL
Wieviel Humus steckt künftig noch im Wiesenboden?

22

WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATION
Klimawissen für angehende Journalisten

26

STÜRME
Historische Aufzeichnungen widerlegen den gefühlten Wandel

32

PERMAFROST
Wie viel Methan entweicht aus den Böden der Arktis?

40

BILDUNG
#klimafit - Eine Idee wird groß

46

HOCHWASSER
Wie Gemeinden sich für den Ernstfall wappnen

52

LUFTVERSCHMUTZUNG
Die Reise der Schadstoffe

58

MEERESSPIEGELANSTIEG
Grönlands Eismassen auf der Waage

66

PROBLEMBEWUSSTSEIN
Klimawandel - Eine Frage der Perspektive

68

ABRUPTER KLIMAWECHSEL
Interview: Auf der Suche nach den Ursachen

72

HAGEL
Ein Risiko lässt sich endlich abschätzen

78

LESETIPPS
Zahlen, Fakten, Denkstoff - die REKLIM-Informationsangebote

80

FERNWIRKUNGEN
Wie das Meereis der Arktis unser Wetter beeinflusst

88

ZUR SACHE
Was muss Klimaforschung heute leisten, Klaus Grosfeld?

92 | **Impressum / Bildnachweis**

HINWEIS

“ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verwenden wir bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Hauptwörtern in diesem Magazin die männliche Form. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter. Die von uns benutzte verkürzte Sprachform hat nur redaktionelle Gründe und beinhaltet keine Wertung. ”
DIE REDAKTION



16

BÖDEN IM KLIMAWANDEL
Bodenleben und Landwirtschaft - wie geht es weiter?

58

MEERESSPIEGELANSTIEG
Ein Satellitengespinn vermisst Grönlands schrumpfende Eismassen



Staubwolken wirbeln auf und vernebeln die Sicht, als ein Landwirt im August 2018 im brandenburgischen Heinersdorf Rapssaat in den trockenen Ackerboden drillt.

Trockenheit und Sternenstaub



Spätestens seit dem Sommer 2018 ist klar:
Auch in Deutschland drohen
Dürren. Mit kosmischen Strahlen und anderen
kreativen Methoden untersuchen
Leipziger Wissenschaftler das hierzulande
kaum erforschte Klima-Phänomen.

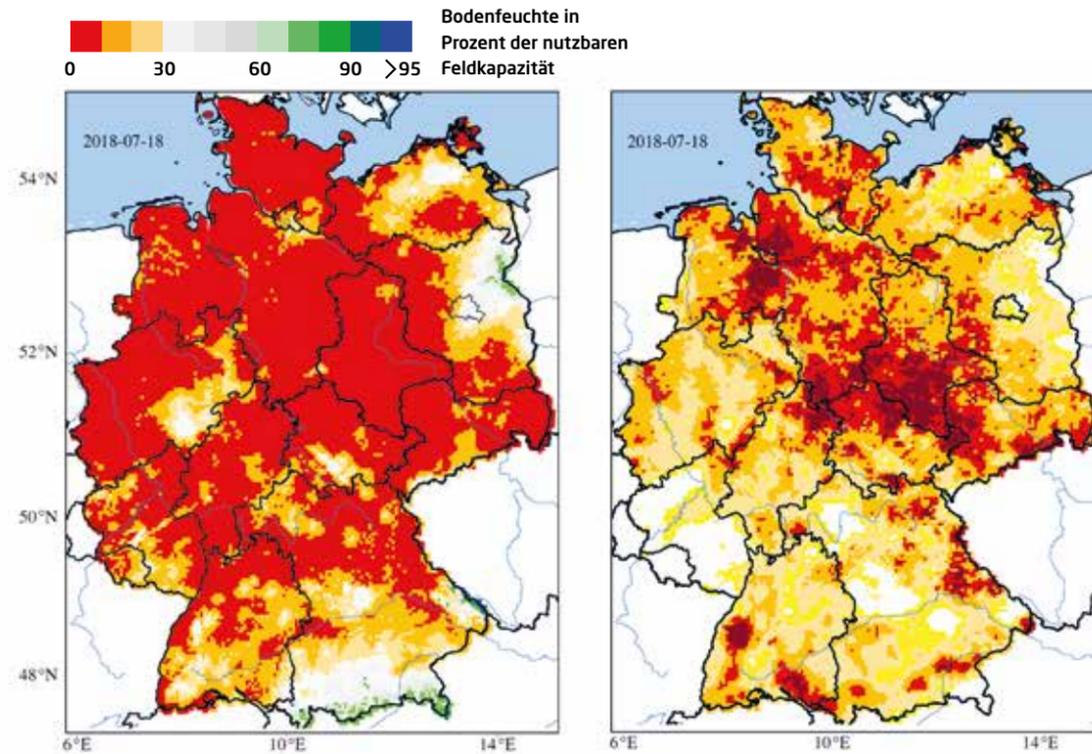
TEXT: KATJA TRIPPEL



Dieser Bootsanleger am nordhessischen Edersee liegt auch im Oktober 2018 noch auf dem Trockenen. Im Zuge der langen Trockenheit war die Wassermenge des Stausees auf ein Viertel abgesunken.



Das Cosmic-Ray-Messgerät im Kofferraum des UFZ-Land Rovers erfasst die Bodenfeuchte in einem Umkreis von 150 Meter und bis in eine Tiefe von etwa 50 Zentimeter.



DÜRREMONITOR:
Im August 2018 herrschte in großen Teilen Deutschlands eine außergewöhnliche bis extreme Dürre (rechte Karte). Die absolute Feuchte des Oberbodens, gemeint ist das für Pflanzen verfügbare Wasser, lag größtenteils bei unter 10 Prozent, wie die linke Karte zeigt. Nur zum Vergleich: Pflanzen geraten in der Regel ab einem Wert von unter 30 Prozent in Wasserstress.

Die Bilder des „Endlos-Sommers“ 2018 haben wir alle noch vor Augen: blauster Himmel, Sonne und Temperaturen, wie man sie eher aus Bella Italia kennt. Aber gleichzeitig auch: verdorrte Kornfelder, gestrandete Flussschiffe, Straßenbäume, die schon im August ihre Blätter abwarfen, sogar Waldbrände. In Mecklenburg-Vorpommern fielen Moore trocken, am Bingerer Rhein erreichte man den Mäuseturm, der normalerweise auf einer Insel steht, ohne nasse Füße zu bekommen – das ausgetrocknete Flussbett war in braune Kacheln aufgesprengt.

Eine Frage der Bodenfeuchte

Tatsächlich stellte das vergangene Jahr mit seinen Rekordwerten fast den „Hitzesommer“ 2003 in den Schatten, den bislang heißesten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881. Gleich Anfang April war das Thermometer im badischen Ohlsbach auf über 30 Grad geklettert, im Mai und Juni schwitzte das Land bei Werten bis 34 Grad, gefolgt von einer Hitzewelle, die selbst der eher frischen Ostseeinsel Greifswalder Oie 14 Tropennächte bescherte. 2018 kam allerdings hinzu, dass es von April bis November

kaum regnete. Und so verschärfte sich die „Heißzeit“ – nicht umsonst Wort des Jahres 2018 – zu einer veritablen Dürre. Dürren, mitten in Europa? „Leider ja“, sagt Dr. Andreas Marx vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig (UFZ). Schon im Jahr 2008 begann er mit seinem Team, sich mit dem in Deutschland bislang wenig

beachteten Thema zu beschäftigen. Und klärt daher erstmal auf: „Nicht Hitze verursacht Dürren, sondern Trockenheit. Hitze beschleunigt allerdings die Verdunstung von Wasser auf und in den Böden.“ So können sich in Seen wie Gartenteichen an einem 30 Grad heißen Tag bis zu sechs Liter Wasser pro Quadratmeter quasi in Luft auflösen. In

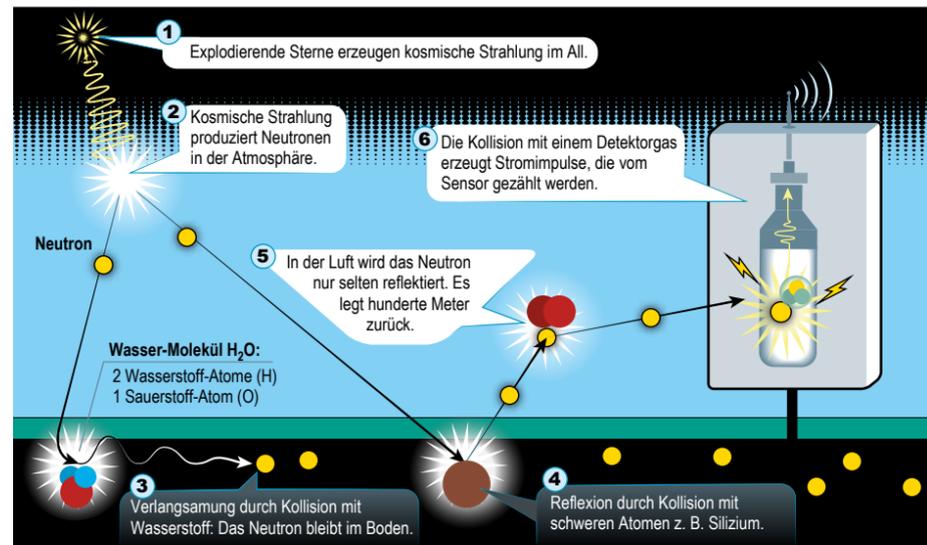
ausgetrockneten Böden wiederum fällt es den Wurzeln von Pflanzen und Bäumen zunehmend schwer, ausreichend Wasser zu pumpen, um ihre Stämme, Stiele, Blätter oder Früchte zu versorgen. „Das entscheidende Maß für das Bestimmen einer Dürre ist daher die Bodenfeuchte“, sagt Marx. „Wenn diese trockener ist als in 20 % der langjährigen Werte an einem bestimmten Ort im jeweiligen Monat, sprechen wir dort von Dürre.“

Dürremonitor gibt Überblick

Um ihre Erkenntnisse mit der Öffentlichkeit zu teilen, stellten die Dürreforscher 2014 auf der Website des UFZ den „Dürremonitor“ online. Ein Klick, ein Blick, und auf der Deutschlandkarte zeigen Färbungen von blau bis dunkelrot, wie es aktuell um die Bodenfeuchte steht und ob Dürre vorherrscht. Ende August 2018 beispielsweise waren über 95 Prozent des Landes rot gefärbt, spricht: Dort waren die Böden staubtrocken – so trocken wie in keinem Sommer seit 1951, dem ersten Jahr, das in den Dürremonitor einging. Im Herbst kühlte es zwar ab, doch mangels Regen verschärfte sich die Dürre noch weiter.

„Der Dürremonitor stößt vor allem bei Land- und Forstwirten auf Interesse“, sagt Klimatologe Marx. „Aber auch bei Menschen, die in der Flussschifffahrt oder Trinkwasserversorgung arbeiten.“ Regelmäßig rufen beim UFZ zudem Hobby-Gärtner an, die wissen wollen, wie häufig sie ihre Beete sprengen müssen. Oder weil sie sich über die Karten des Dürremonitors wundern. So fragten im Herbst 2018 mehrere Brandenburger, warum ihre ausgetrocknete Heimat auf der Monitor-Karte nicht tiefrot gefärbt sei. Da könne doch nur ein Fehler vorliegen! Antwort Marx: Die Brandenburger Sandböden sind fast jeden Sommer so stark ausgetrocknet, dass die Abweichung vom Normalwert 2018 weniger extrem war als anderswo. Genau andersherum im Harz, Deutschlands nassester Gegend: Dort zeigte die Karte tiefrot, obwohl es durchaus geregnet hatte – aber sehr viel weniger als normalerweise. „Um das Missverständnis zwischen relativer und absoluter Bodenfeuchte aufzuklären, haben wir nun auch eine Karte mit absoluten Feuchtwerten online gestellt. Sie zeigen die jeweils aktuelle Situation und nicht den Vergleich mit dem Normwert“, berichtet

der Klimatologe. Ihr Messwert ist demzufolge nicht die Abweichung, sondern die sogenannte nutzbare Feldkapazität (nFK). Sie zeigt das pflanzenverfügbare Wasser an und kann Werte zwischen einem und circa 300 Prozent annehmen. Bei Werten unter 50 Prozent nutzbare Feldkapazität beginnen Landwirte, ihre Flächen künstlich zu beregnen. Bei unter 30 Prozent zeigen die meisten Pflanzen Wasserstress. „Nachfragen wie diese motivieren uns sehr, für die Zukunft noch bessere Basisdaten zu gewinnen“, sagt Marx. Begonnen haben die Wissenschaftler am UFZ ihre Dürreforschung einst mit Niederschlagswerten, die seit jeher gemessen werden. Anhand derer lässt sich mit Hilfe von Modellierungen berechnen, wie viel Wasser im Boden gespeichert ist, zumindest zurück bis ins Jahr 1951. Direkte Bodenfeuchtemessungen sind spärlich und nicht lange in die Vergangenheit verfügbar. Auch sogenannte Bodenkerzen, die punktuell an mehreren Orten die Feuchte gemessen hatten, erwiesen sich als wenig repräsentativ. Für die aktuelle Generation der Rechenmodelle, z. B. das mesoskalige Hydrologische



Ein Cosmic-Ray-Messgerät zählt die Anzahl der Neutronen, die vom Untergrund reflektiert werden. Je mehr Feuchtigkeit das Erdreich enthält, desto mehr Neutronen verbleiben im Boden.

EXPERTENHILFE IN DER NOT

Marion Gensel leitet gemeinsam mit ihrem Vater den Land- und Forstwirtschaftsbetrieb Forsthof Sörgel in Grabow, Mecklenburg-Vorpommern. Auf circa 50 von insgesamt 670 Hektar Land ließen sie in den vergangenen Jahren einen jungen Mischwald pflanzen, der 2018 massiv unter Dürrestress geriet.

► **Frau Gensel, warum forsten Sie so großflächig auf?**

Wir führen im Auftrag des Straßenbauamts Schwerin ökologische Ersatzmaßnahmen durch, die aufgrund des Baus der A14 notwendig sind. Im Herbst 2015 haben wir begonnen, auf unrentablen Ackerflächen sowie auf der ehemaligen Ziegelei in Malliß eine Mischkultur aus Feldahorn, Bergahorn, Spitzahorn, Kiefern, Robinien, Eichen, Lärchen, Streuobstbäumen, Tannen etc. zu pflanzen sowie bunte Waldränder mit Hecken und wilden Obstbaumarten anzulegen. 2018 sollten die letzten Flächen aufgeforstet werden.

► **Doch dann kam ihnen die Dürre dazwischen?**

Ja, leider. Vor allem von den Jungbäumen, die wir im Herbst 2017 und im Frühjahr 2018 gepflanzt haben, sind aufgrund der Trockenheit im vergangenen Sommer und Herbst viele eingegangen: bei den Nadelbäumen über 50 Prozent, auf manchen Flächen erlitten wir einen Totalverlust, weil die Jungpflanzen mit ihren Wurzeln noch nicht in

tieferen, feuchteren Bodenschichten gelangt waren. Auch von den im Vorjahr gepflanzten Bäumen sind viele verdorrt.

► **Weshalb haben Sie daraufhin den Dürremonitor konsultiert?**

Wir mussten unserem Auftraggeber belegen, dass die Schäden auf abiotischen Faktoren beruhen – in diesem Fall auf der überdurchschnittlichen Trockenheit – um neue Mittel beantragen zu können sowie einer Vertragsstrafe zu entgehen. Denn wir haben uns ja verpflichtet, pünktlich einen gesunden Jungwald zu liefern. Als ich vom Dürremonitor hörte, bat ich die Experten in Leipzig um detaillierte Bodenfeuchtedaten für unsere Flächen. Sie zeigten minimale Werte an und waren der Beweis, dass wir nichts falsch gemacht haben, sondern die Dürre schuld war. Unter anderem dank dieser fachmännisch aufbereiteten Datenanalyse sagten uns die Auftraggeber die Kostenübernahme zu. Nun können wir die gesicherten Kulturen nochmals pflanzen. Bleibt zu hoffen, dass 2019 ein feuchteres Jahr wird! ■

Modell (mHM), nutzen Wissenschaftler um den Hydrologen Dr. Luis Samaniego vom UFZ Temperatur-, Niederschlags- und Verdunstungswerte als Antrieb. Des Weiteren fließen Satelliten- und geologische Daten über den jeweiligen Untergrund ein. Denn je nach Geländetyp (Gebirge, Flachland), Bodenart (Sand, Fels, Schwarzerde) oder Landnutzung (Wald, Kornfeld, asphaltversiegelt) unterscheiden sich die Wasseraufnahme-, Wasserspeicher- bzw. Verdunstungskapazitäten.

Mithilfe kosmischer Strahlung

Den Nachweis, dass ihre Bodenfeuchte-modellierungen zuverlässig sind, erlangten die Dürre-Experten allerdings mit Hilfe von Sternen. „Nicht durch Astrologie“, lacht Marx, „sondern mit Hilfe von Supernovas.“ Wie bitte? „In Deutschland ermitteln seit 2014 rund 30 sogenannte Cosmic-Ray Geräte die Bodenfeuchte“, bestätigt Dr. Martin Schrön, Physiker am UFZ in Leipzig. „Sie sind etwa so groß wie ein Handgepäckkoffer und an Messpunkten des TERENO-Netzwerks stationiert.“

Zum Glück ist Schrön als deutscher Science-Slam-Meister des Jahres 2015 geübt, komplexe Sachverhalte wie Sternenstaub-Messungen einfach darzustellen. „Wenn Sterne explodieren, entsteht kosmische Strahlung“, erklärt er. „Landen ihre hochenergetischen Teilchen in der Erdatmosphäre, lösen sie wilde Reaktionen aus. Dabei entstehen elektrisch neutrale Neutronen, die ungestört zu Boden rieseln und sogar tief in das Erdreich eindringen, weil sie sich unterwegs kaum für Atome interessieren. Nur bei Wasser werden sie schwach – und das nutzen wir aus!“

Stoßen Neutronen nämlich auf den Atomkern von Wasserstoff, geben sie ihre Energie, ähnlich wie Billardkugeln, fast vollständig ab und bleiben im Boden stehen. Mit einem Zähler für reflektierte Neutronen über der Erde kann man so den Bodenwassergehalt ableiten. Und weil Neutronen in der Luft viel Platz zur Ausbreitung haben, erlaubt die Messung einen repräsentativen Durchschnittswert über viele Hektar Land. Doch auch Wasser oberhalb des Bodens lässt sich mit der Methode messen. Am



Mickrig und ausgedörrt steht der Mais im August 2018 auf einem Feld in Ostwestfalen-Lippe. Entsprechend hoch waren deutschlandweit die Ernteauffälle infolge der Dürre.

VORAUSSGEDACHT

Ich möchte herausfinden, ob die Neutronenmessung auch aus der Luft funktioniert, etwa mit Drohnen. Dann wären wir nicht an Straßen gebunden und könnten auch schlecht zugängliche Landschaftsabschnitte wie bewachsene Felder, Naturschutzgebiete oder Flussufer in kürzerer Zeit vermessen.

MARTIN SCHRÖN
Physiker am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

TERENO-Intensiv-Testgebiet „Hohes Holz“ bei Oschersleben in Sachsen-Anhalt hat Schrön beispielsweise je ein Cosmic-Ray-Gerät über und unter das Kronendach eines Waldes gehängt. „Bäume bremsen Regen auf dem Weg nach unten und reduzieren damit die Nässe im Boden“, erklärt er. „Wie viel Wasser genau hängen bleibt, ist schwer zu messen, aber vielleicht gelingt es mit Hilfe der Neutronen-Zählung.“

Messfahrten mit Land Rover

Ein etwas größeres Gerät hat der Wissenschaftler 2014 erstmals in den Kofferraum eines UFZ-Land Rovers gepackt und ist damit kreuz und quer durch Deutschland gefahren; durch Fichtenwälder, über Wiesen und Kartoffeläcker, Autobahnen und Bergstraßen. „Unser Ziel war herauszufinden, wie das Gerät auf verschiedenen Untergründen arbeitet. Zum Glück ist es unglaublich zuverlässig“, schwärmt der Physiker. „Ich muss nur den Startknopf drücken, und schon sendet es Daten

über die Bodenfeuchte in einem Radius von etwa 150 Meter und bis circa 50 Zentimeter tief in den Boden hinein. Vielleicht klemmen wir das Gerät auch mal an einen ICE oder einen Fernreisebus und können so in kurzer Zeit sehr große Flächen vermessen.“ Dieses Jahr will Schrön mit seinem Cosmic-Ray-Rover vor allem dort entlangfahren, wo die Macher des Dürremonitors bessere Daten benötigen. Oder wo Landwirte bei Hitzewellen wissen wollen, wie es um ihre Ackerböden steht. „In Nebraska, der Maisammer der USA, wird auf diese Weise

bereits entschieden, ob oder wie viel die Felder bewässert werden müssen“, weiß Schrön. In der Klimaforschung wiederum können die Bodenfeuchtedaten verwendet werden, um bei verschiedenen Erwärmungsszenarien das Risiko von Überschwemmungen oder Dürren zu berechnen – je nachdem, ob die globalen Temperaturen in den nächsten Jahrzehnten um 1,5 Grad oder 3 Grad steigen. Ob 2019 wieder eine Dürre droht, kann jedoch weder der Dürremonitor noch der Cosmic-Ray-Rover vorhersagen. „Diese Antwort steht wirklich in den Sternen“, sagt Andreas Marx.

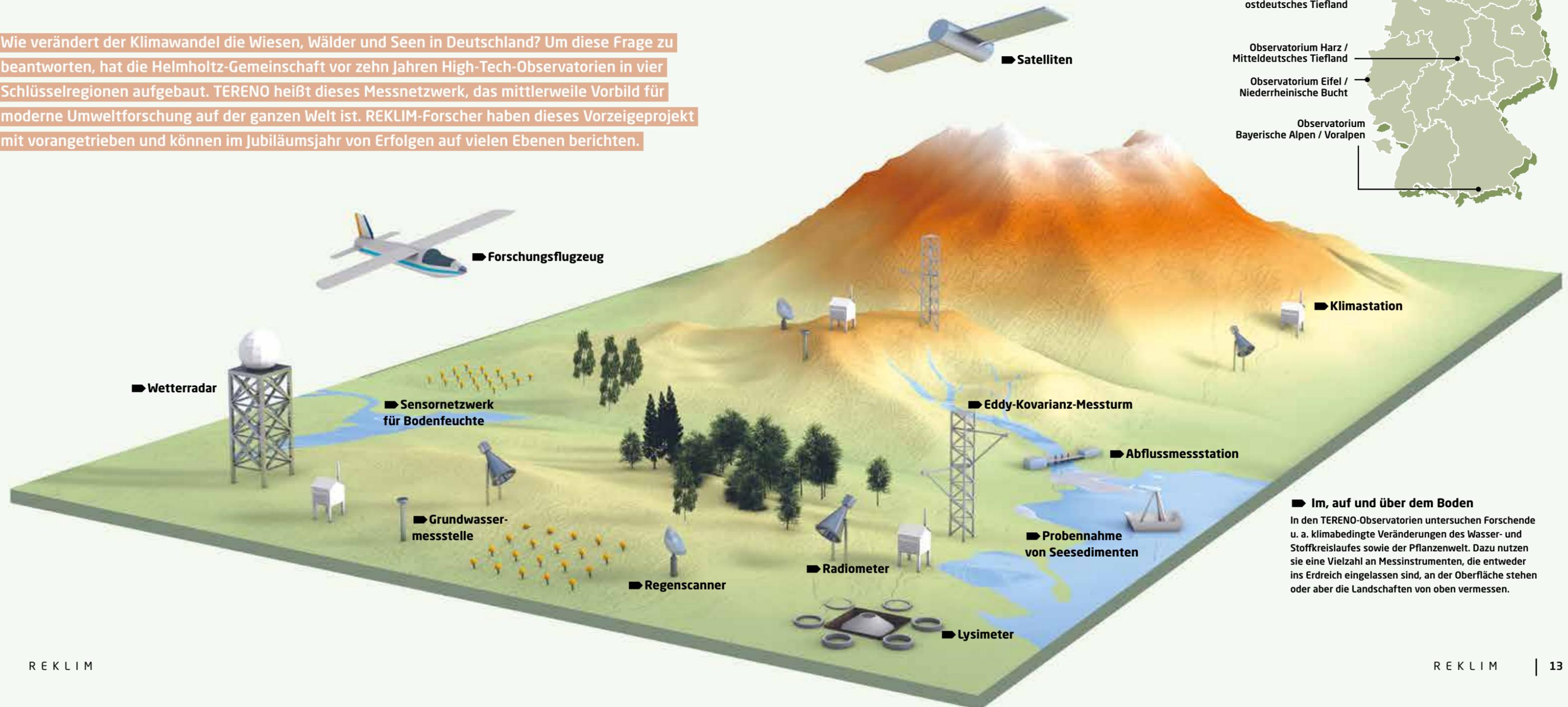
KOMPAKT

- 2018 war mit einer Mitteltemperatur von 10,4 Grad Celsius das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen 1881. Außerdem hat es zuvor nur in zwei anderen Jahren weniger geregnet.
- Eine Dürre herrscht dort, wo die aktuelle Bodenfeuchte niedriger ist als in 20 % der langjährigen Werte zur selben Zeit im Jahr.
- Die Bodenfeuchte lässt sich mit „Cosmic Ray-Messgeräten“ ermitteln. Diese erfassen die Anzahl von Neutronen, welche als Folge von Sternexplosionen vom Himmel fallen.



JEDES DETAIL ZÄHLT

Wie verändert der Klimawandel die Wiesen, Wälder und Seen in Deutschland? Um diese Frage zu beantworten, hat die Helmholtz-Gemeinschaft vor zehn Jahren High-Tech-Observatorien in vier Schlüsselregionen aufgebaut. TERENO heißt dieses Messnetzwerk, das mittlerweile Vorbild für moderne Umweltforschung auf der ganzen Welt ist. REKLIM-Forscher haben dieses Vorzeigeprojekt mit vorangetrieben und können im Jubiläumsjahr von Erfolgen auf vielen Ebenen berichten.



Weterradar

Sensornetzwerk für Bodenfeuchte

Grundwassermessstelle

Regenscanner

Radiometer

Lysimeter

Forschungsflugzeug

Satelliten

Klimastation

Eddy-Kovarianz-Messturm

Abflussmessstation

Probennahme von Seesedimenten

Wie setzt die Hitze den Pflanzen zu?

TERENO ist für uns zum **wichtigsten Forschungsnetzwerk** innerhalb Deutschlands geworden. An den Messstandorten des Observatoriums in den Voralpen untersuchen wir zum Beispiel, wie sich Hitzewellen und Dürren auf natürliche Ökosysteme und auf landwirtschaftlich genutzte Flächen auswirken. Es geht also um zentrale Fragen wie:

Wie viel Bodenwasser steht den Pflanzen zur Verfügung und welche Stressreaktionen zeigen sie während einer Hitzewelle? Solche detaillierten Studien wären ohne die stationäre Technik an den TERENO-Standorten gar nicht möglich. Sie bildet das Rückgrat unserer Arbeit und wird durch Messungen mit mobilen Geräten ergänzt.

PROF. DR. HANS PETER SCHMID

Klimaforscher und Leiter des Institutes für Meteorologie und Klimaforschung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Garmisch-Partenkirchen



Im, auf und über dem Boden

In den TERENO-Observatorien untersuchen Forschende u. a. klimabedingte Veränderungen des Wasser- und Stoffkreislaufes sowie der Pflanzenwelt. Dazu nutzen sie eine Vielzahl an Messinstrumenten, die entweder ins Erdreich eingelassen sind, an der Oberfläche stehen oder aber die Landschaften von oben vermessen.

Entwickelt für TERENO, genutzt weltweit

Die TERENO-Observatorien waren und sind eine ideale Spielwiese, um neue Methoden zur Qualitätssicherung von Umweltdaten zu testen. Wir haben im REKLIM-Verbund beispielsweise eine **Software** weiterentwickelt, mit der wir unsere Langzeitmessungen zum Kohlendioxidaustausch zwischen der At-

mosphäre und dem Ökosystem überwinden können. Die Software untersucht unsere Messdaten automatisch auf Messfehler und ähnliche Algorithmen werden nach dem erfolgreichen Test in Deutschland mittlerweile auch im europäischen Kohlendioxid-Messnetzwerk ICOS sowie in den USA eingesetzt.

DR. MATTHIAS MAUDER

Atmosphärenforscher am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Forschung mit unmittelbarem Praxisbezug

TERENO hat neben der nationalen und internationalen wissenschaftlichen Vernetzung auch zum regen **Austausch mit lokalen Akteuren** aus der Land- und Forstwirtschaft sowie dem Naturschutz geführt. Wir haben zum Beispiel gemeinsam mit Landwirten und Landwirtschaftsberatern aus der Region Südbayern überlegt, wie wir unser

Wissen zum optimierten Grünland-Management aufbereiten müssten, sodass die Landwirte auch bei ihrer täglichen Arbeit davon profitieren können. Daraus entstanden ist u. a. ein praxisnahes Forschungsprojekt, in dem wir jetzt gemeinsam der Frage nachgehen, wie viel Stickstoff aus der Gülle den Pflanzen überhaupt zu Gute kommt.

DR. RALF KIESE

Biogeochemiker am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Unser Konzept setzt Maßstäbe

In unseren TERENO-Observatorien kombinieren wir seit zehn Jahren neueste Messtechnik mit innovativen Modellansätzen und untersuchen erstmals alle Komponenten der Umwelt - **ein Konzept, das international Nachahmer findet**. Es bildet zum Beispiel die Grundlage für das große europäische Umwelt-Beobachtungsmessnetzwerk „eTLER“,

welches derzeit geplant wird. Darüber hinaus erheben wir in den TERENO-Observatorien Daten für das europäische Kohlendioxid-Messnetzwerk ICOS. Diese und andere Erfolge sind nur möglich, weil alle Beteiligten eng zusammenarbeiten. Für mich ist TERENO ein Musterbeispiel der Kooperation innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft.

PROF. DR. HARRY VERECKEN

Umweltforscher am Forschungszentrum Jülich (FZJ)

Online-Anschluss für abgelegene Observatorien

Der Aufbau der TERENO-Messstandorte hat uns vor die Aufgabe gestellt, **optimierte Lösungen für das Datenmanagement** zu entwickeln, angefangen bei der Datenerfassung an den Sensoren über den automatisierten Datentransfer und die Speicherung bis hin zur Visualisierung im Internet.

Eine Arbeit mit großem Mehrwert, denn das Wissen und die Techniken zur Online-Anbindung von Standorten in geographisch schwierigen Lagen konnten wir anschließend auch auf die Messstandorte anderer Projekte übertragen, so zum Beispiel in Ghana und Burkina Faso.

FRANK NEIDL

Leiter der IT-Abteilung des Institutes für Meteorologie und Klimaforschung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Garmisch-Partenkirchen

Hand in Hand mit Universitäten

Die europaweite Dürre im Sommer 2018 hat gezeigt, wie wichtig das Monitoring der Bodenfeuchte für die Landwirtschaft ist. In den TERENO-Observatorien setzen wir die neue Cosmic-Ray-Neutron-Sensing-Methode zur Messung der Bodenfeuchte ein und arbeiten gemeinsam mit Wissenschaftlern verschiedener Universitäten daran, diese Tech-

nik zu verfeinern. Unser Ziel ist es, das Messverfahren flexibler und übertragbarer zu machen, sodass die **Bodenwasserverteilung auf regionaler Ebene** häufiger und vor allem genauer erfasst werden kann. Auf diese Weise fördert TERENO auch die wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen Helmholtz-Forschungszentren und den Universitäten.

DR. HEYE BOGENA

Umweltforscher am Forschungszentrum Jülich (FZJ)

Extreme Trockenheit schwächt Kiefern und Eichen

Eine der wichtigsten Aufgaben des TERENO-Observatoriums Nordost ist das umfassende **Umwelt-Monitoring alter Baumbestände** im Müritznationalpark. Dabei untersuchen wir, wie das Wetter und Klima das Wachstum der Bäume beeinflusst. Mit Hilfe von TERENO konnten wir zum Beispiel die Auswirkungen des Extremsommers 2018 auf verschiedene Baumarten genau verfolgen.

Während die Buche mit erstaunlich gutem Wachstum überraschte, zeigten Eiche und Kiefer wider Erwarten starke Wachstumseinbrüche. Diese Erkenntnisse helfen uns zu verstehen, unter welchen Bedingungen Bäume wie wachsen. Außerdem können wir jetzt anhand der Wachstums- oder Jahresringe alter Bäume genauer ableiten, wie das Klima in den letzten Jahrhunderten variierte.

DR. INGO HEINRICH

Dendrochronologe am Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) und wissenschaftlicher Koordinator des TERENO-Observatoriums Nordost



DER BODEN ZIEHT UM

Text: TIM SCHRÖDER

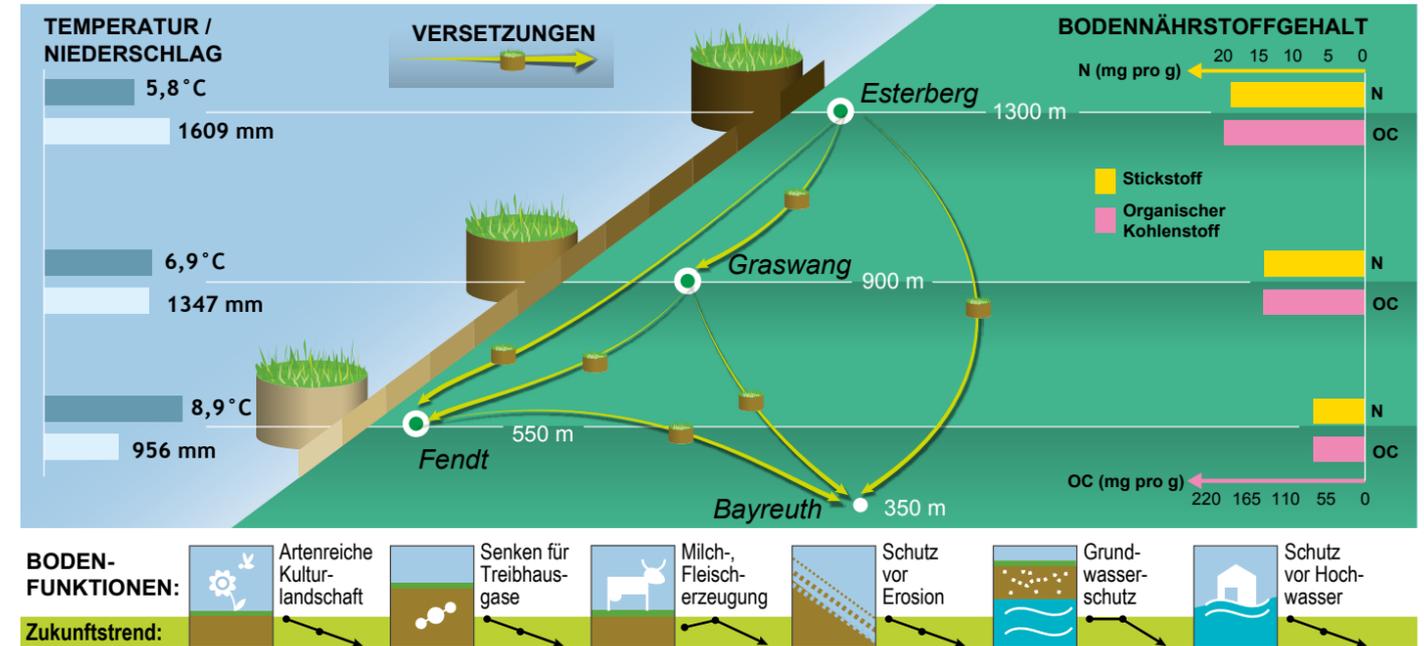
Das Klima in Bayern könnte künftig wärmer und trockener werden. Experten befürchten, dass die Böden von Wiesen dadurch an fruchtbarem Humus verlieren. Um die Folgen besser abschätzen zu können, nehmen die Forscher den Klimawandel vorweg. Sie verpflanzen Grünlandböden aus den kühlen und feuchten Bergregionen ins wärmere Flachland - und beobachten die Veränderungen. Dabei arbeiteten Wissenschaftler und Bauern Seite an Seite.

Leitkuh Alma (rechts) und ihre kleine Herde grasen auf der Brunnenkopfmalm im Ammergebirge. Die Murnau-Werdenfeller Rinder halten die Vegetation kurz und schaffen Lücken im Grasfilz, in denen zum Beispiel seltene Orchideenarten wie das Kugel-Knabenkraut (kleines Bild) wachsen können.





Freiluftlabor: Die Umweltforscher um Projektleiter Michael Dannemann haben an beweideten und unbeweideten Abschnitten der Brunnenkopfmalm Wasser- und Bodenproben genommen und untersuchen diese direkt noch auf der Alm auf ihren Nährstoffgehalt.



Ergebnisse der Boden-Umsetzungsstudie und erwartete Zukunftstrends der Bodenfunktionen, falls nicht durch klimaangepasste Bewirtschaftung gegengesteuert wird.



In kleinen Bodenkernen wird auf der Brunnenkopfmalm die Nitrifikation, also die Nitratproduktion durch Bodenmikroorganismen gemessen. Die extensiv beweideten Almböden weisen so gute Filtereigenschaften auf, dass das Grundwasser nicht nitratbelastet ist.

Alma ist ein ausgeruhter Typ. Wenn Michael Weiß die Kuh antreibt, dann spurt sie, ohne groß zu mucken. Und was noch wichtiger ist, die Jungtiere folgen ihr – und kommen nicht auf Abwege. Denn auf der steilen Brunnenkopfmalm könnten die unerfahrenen Rinder leicht stürzen. Alma ist 18 Jahre alt und so etwas wie eine Landschaftspflegerin. Gemeinsam mit den Jungtieren hält sie das Gras auf der Alm kurz. Sie hilft, die Blumen und Gräser auf der Brunnenkopfmalm im bayerischen Ammergebirge zu stutzen und zu erhalten, was die Alm über Jahrhunderte war: eine pittoreske Wiesenlandschaft, auf der im Frühjahr die Blumen blühen.

Eine Tradition aufleben lassen

Die Brunnenkopfmalm war lange verwaist. Vor Jahrzehnten gab man die Weidewirtschaft an ihren Hängen auf – wie auf vielen anderen abgelegenen Almen. Zu beschwerlich und wenig einträglich war das Geschäft. Die Alm diente all die Jahre nur noch als Jagdrevier und drohte zu verbuschen und wieder zu Wald zu werden. Bauer Michael Weiß aus dem Dörfchen Schöffau aber will die Almlandschaft erhal-

ten; und mit ihr den Artenreichtum. Denn auf einer behutsam beweideten Alm gedeihen rund 250 Pflanzenarten. „Ich habe lange nach einer Alm gesucht, um mir einen Traum zu erfüllen“, sagt Michael Weiß. „Aber so ohne Weiteres wollten mir die Behörden kein Gebiet für die Beweidung überlassen.“ Erst als er Dr. Michael Dannemann traf, wendete sich das Blatt.

Michael Dannemann ist Bodenforscher am Garmisch-Partenkirchner Institut für Meteorologie und Klimaforschung, einer Außenstelle des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Dannemann möchte herausfinden, wie der Klimawandel die Böden der bayerischen Wiesen verändert und wie sich die Bodenveränderungen auf Landwirtschaft, Artenvielfalt, Wasserqualität und Hochwasser- sowie Erosionsschutz auswirken. „Michael Dannemann suchte eine Alm zum Beforschen und ich eine zum Beweiden“, sagt Michael Weiß und lacht. Und mit dem Ziel, Wege zur Rettung der verwaisten Almflächen vor den Folgen des Klimawandels zu erforschen, klappte es dann doch: Michael Weiß darf seine Rinder seit dem Jahr 2018 gleich auf zwei bayeri-

schen Almen weiden lassen – und Michael Dannemann untersucht die Böden. Doch Michael Dannemann hat nicht nur die Almen im Blick. Im Projekt SUSALPS untersucht der Bodenkundler zusammen mit Kollegen von anderen Forschungseinrichtungen gleich mehrere Standorte in Bayern, die unterschiedlich hoch gelegen sind – auf der beweideten Alm im Hochgebirge sowie auf vorwiegend gedüngten und gemähten Wiesen in mittleren Höhen und im relativ flachen Alpenvorland. „Bekannt ist inzwischen, dass sich die Alpenregion mit dem Klimawandel etwa doppelt so schnell erwärmt wie andere Regionen der Erde“, sagt Dannemann. „Für die Zukunft erwarten wir, dass das Klima in Bayern noch deutlich wärmer wird. Wir wollen wissen, was das mit den Böden macht und welche Auswirkungen dies für den Boden und die Bewirtschaftung hat.“ Was die Almen betrifft, ergibt sich folgendes Bild: Wird es wärmer, verschiebt sich die Baumgrenze nach oben. Ohne Beweidung wachsen die vor Jahrhunderten dem Wald abgerungenen Almen immer schneller mit Büschen und Bäumen zu. Das ist auch be-

dauerlich, weil Wälder deutlich artenärmer als Wiesen sind. Hinzu kommen Probleme, die menschengemacht sind: Auf Almen, die seit vielen Jahren nicht mehr beweidet werden, haben sich längliche Gräser ausgebreitet, die kaum verrotten. Sie bilden dicke feste Strohmatte, die wie ein Grasdach verhindern, dass der Regen im Boden versickert. Bei Starkregen, der mit dem Klimawandel zunehmen könnte, rauscht das Wasser direkt zu Tal. Damit steigt die Gefahr von Hochwasser. An anderen Stellen reißt rutschender Schnee die schweren Grasmatten mit sich. Der Hang erodiert.

Humus schwindet bei Wärme

Für die Wiesen weiter unten erwarten die Forscher eine ganz andere Entwicklung: Die Klimaerwärmung dürfte den Böden auch dort nicht guttun, sagt Dannemann, denn in den sich erwärmenden und trockeneren Böden dürfte der Humus schwinden. Insbesondere in kühlfeuchten Bereichen finden sich sehr große Humusmengen. Solche feuchten Böden sind schlecht durchlüftet und enthalten wenig Sauerstoff. In diesem kühlen und sauerstoffarmen Milieu können Mikroorga-

nismen abgestorbene Pflanzenmasse kaum abbauen, weil sie dazu Sauerstoff benötigen und die niedrige Temperatur ihre Aktivität hemmt. So reichern sich nach und nach die Pflanzenreste an, die wichtige Pflanzennährstoffe enthalten. Da die Pflanzenmasse nur langsam abgebaut wird, geben die humusreichen Böden die Nährstoffe nur langsam frei – und zwar in genau jenem Tempo, wie nachwachsende Jungpflanzen sie benötigen. Viele bayerische Grünland-Böden wurden über Jahrhunderte mit Mist gedüngt. Die Einstreu verrottete nur teilweise, reichte sich in den feuchten Böden an und trug zur Humusbildung bei.

„Dass wir in Bayern teils Böden finden, die so reich an Pflanzennährstoffen sind, liegt also an der jahrhundertelangen klassischen Düngung“, sagt Dannemann. „Im Grunde hat man eine für die Graspflanzen ideale Nährstoffreserve aufgebaut, die im feuchten und kalten Boden konserviert wurde.“ Mit dem Klimawandel könnte diese Reserve verloren gehen, denn in wärmeren Böden können nun jene Mikroorganismen verstärkt aktiv werden, die Humus abbauen. Nährstoffe gehen so für die Milch- und Fleischproduktion

VORAUSSGEDACHT

„In zehn Jahren wollen wir unser neues Verständnis zur Reaktion der Grünlandböden auf den Klimawandel in Form von klimaangepasster Bewirtschaftung in die Praxis übertragen sehen. Hierfür entwickeln wir u. a. Entscheidungshilfesysteme für Landwirte, die sich auf dem Smartphone betreiben lassen.“

MICHAEL DANNENMANN
Umweltforscher am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



Im TERENO-Observatorium Fendt messen Roboter an Bodensäulen aus verschiedenen Höhenlagen, welche Treibhausgase ihre Mikroorganismen freisetzen.



Je mehr Regenwürmer im Erdreich leben, desto besser ist dessen Qualität. Daher erfassen die Umweltforscher in ihren Studien zur Veränderung des voralpinen Grünlandes auch die Zahl und den Artenreichtum der wertvollen Bodenorganismen.

aus der Grünlandwirtschaft verloren. Viele Bauern in Bayern düngen ihre Wiesen mit Gülle. „Doch mit dem Klimawandel werden nach unseren Untersuchungen mehr Nährstoffe verloren gehen, als man durch Düngung aufbringen kann“, sagt Dannenmann. „Dies ist nicht das einzige Problem - Verlust an Bodenhumus bedeutet gleichzeitig erhöhte Emission von Treibhausgasen aus den Böden, verringerte Boden-Filterkapazität für Schadstoffe und somit die Gefahr von Gewässerverunreinigungen z. B. durch Nitrat.“ Zudem könne ein Boden mit weniger Humusgehalt weniger Wasser aufnehmen und verlore somit seine Funktion für den Hochwasser- und Erosionsschutz. Der Klimawandel gefährdet also die wichtigsten Bodenfunktionen der voralpinen Weiden und Wiesen.

Neue Heimat für Gebirgsböden

Dass er die Zukunft der Böden so gut abschätzen kann, ist einer enormen Anstrengung zu verdanken. Zusammen mit vielen Kollegen hat er Böden gewissermaßen umgesiedelt, Böden in höheren Lagen ausgegraben und sie in tiefe Lagen verfrachtet. Damit nimmt er den Klimawandel ein Stück

weit vorweg. Denn oben ist es kälter. Wer einen Boden von oben einige Hundert Höhenmeter weiter talwärts einpflanzt, simuliert folglich ein wärmeres und trockeneres Klima. Der Aufwand war immens, denn das Ausgraben der Bodenproben hatte es in sich. Die Forscher trieben mehr als 800 etwa 30 Zentimeter breite Kunststoffrohre einen halben Meter tief in den Boden und stanzten so wie mit einem Stechheber das Material aus. Dann buddelten sie die Rohre frei, um sie an anderer Stelle mitsamt ihrem Inhalt in wärmeren Boden zu setzen. „Wir können damit sehr gut messen, wie sich der Boden entwickelt“, sagt Dannenmann. „Zum einen, wie er auf das wärmere Klima weiter unten reagiert, zum anderen, welche Art, Menge und Form der Düngung im Klimawandel geeignet ist, den Humus und damit die Bodenfunktionen zu erhalten.“ Manche der verpflanzten Rohre sind in vier verschiedenen Tiefen mit kleinen Schläuchen ausgestattet, die Wasser absaugen, das im Boden versickert. Die Forscher können so analysieren, wie viel Wasser in den Boden eindringt und wie sich die Konzentration an Nährstoffen verändert. Lysimeter nennen Experten solche Anlagen.



Die Gülle, mit der die Wissenschaftler den Boden in den Lysimetern düngen, ist mit stabilen Stickstoffisotopen angereichert. Mit deren Hilfe können die Umweltforscher genau verfolgen, welcher Anteil der Gülle von Pflanzen aufgenommen wird und was mit dem Rest in der Bodensäule geschieht.

Darüber hinaus konnten Michael Dannenmann und Kollegen auf mehrere Dutzend Großlysimeter zurückgreifen, die bereits vor dem Start von SUSALPS im Helmholtz-Großprojekt TERENO an verschiedenen Stellen in Bayern und Deutschland in den Boden eingelassen worden waren. Diese Großlysimeter sind mehr als drei Tonnen schwer und stecken voll mit Messinstrumenten. 800 kleine und viele große Lysimeter liefern eine Unmenge an Daten, die zunächst einmal ausgewertet werden müssen.

Die Ergebnisse dieser Analysen sind nicht nur für Michael Dannenmann und viele REKLIM-Wissenschaftler eine wahre Fundgrube. Auch die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) nutzt sie. „Wir betreiben seit 30 Jahren in Bayern Boden-Dauerbeobachtungsflächen, die wir alle fünf Jahre auf Veränderungen, insbesondere hinsichtlich Humus, untersuchen“, sagt Martin Wiesmeier vom LfL-Institut für ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz. „Die Arbeiten aus SUSALPS ergänzen diese Flächen sehr gut, da sich in den verpflanzten Bodenkernen die Auswirkungen des Klimawandels sehr viel besser untersuchen lassen als unter

normalen Bedingungen. Veränderungen von Humusmengen in Böden lassen sich ansonsten nur mit großem Aufwand und nach sehr langen Zeiträumen eindeutig nachweisen.“

Zurück zum Misthaufen?

Für Martin Wiesmeier stellt sich die Frage, wie sich der Klimawandel und die Bewirtschaftung auf den Boden auswirken und welche Empfehlung man Landwirten künftig für eine klimaangepasste Nutzung geben kann. „Von unseren eigenen Beobachtungsflächen wissen wir, dass die Böden durch den Klimawandel und die Bewirtschaftung nicht überall an Humus verarmen. Dort, wo dies der Fall ist, muss man aber eventuell durch Düngung gezielt gegensteuern.“ Sicher sei,

dass vor allem mineralischer Kunstdünger wenig effizient sei. Er werde leicht aus dem Boden ausgewaschen oder verflüchtigt als Ammoniak und in Form des starken Treibhausgases Lachgas. Gülle setze Nährstoffe etwas langsamer frei, sei aber auch kein dauerhafter Nährstoffspeicher. „Es ist gut möglich, dass man mit dem Klimawandel in manchen Gebieten tatsächlich wieder auf Stallmist umsteigen sollte, um die Verarmung der Böden aufzuhalten“, zieht Martin Wiesmeier eine Zwischenbilanz. Und damit hieße es für manche Regionen „zurück zu den Wurzeln“. So ähnlich, wie Michael Weiß es macht, der auf der Brunnenkopfmalm die Beweidung wiederaufleben lässt - eine Jahrhunderte alte Tradition.

KOMPAKT

- Im Zuge des Klimawandels wird es auch in Bayern künftig wärmer werden. Die Böden von Weiden und Wiesen könnten dadurch wertvollen Humus verlieren. Die Düngung und Beweidung müssen daran angepasst werden.
- Um die Folgen des Klimawandels für die Böden schon heute vorhersehen zu können, wurden Böden aus kühlen Höhenlagen in wärmere, tieferliegende Gebiete verpflanzt. Die Veränderungen werden im Detail untersucht.
- Mit der Erwärmung wird sich die Baumgrenze weiter nach oben verschieben. Artenreiche Almen könnten verwalden. Deshalb wird erforscht, wie sich die Beweidung von Almen im Sinne des Landschaftsschutzes fördern lässt.



AUF FAKE NEWS ZUM KLIMA FALLEN WIR NICHT MEHR HEREIN!

Mit meereisportal.de betreibt REKLIM Deutschlands bekanntestes Infoportal zum Thema Meereis. Die Social-Media-Inhalte erstellen die Forscher gemeinsam mit Studierenden der Freien Universität Berlin. In jedem Semester stehen neue angehende Journalisten vor der Aufgabe, Klimafakten richtig, verständlich und für jedermann unterhaltsam zu kommunizieren. Ein Praxisseminar mit Langzeitwirkung!

Steve Küter



Ich bin Steve und gerade auf dem Weg in Richtung Selbstständigkeit als Illustrator und Motion Designer für Film. Ein großer Schritt und Hilfe dabei ist für mich die Zusammenarbeit mit meereisportal.de! Sie ermöglicht mir, in meinen beruflichen Fähigkeiten zu wachsen, in einem tollen Team zu arbeiten, und gleichzeitig an einem entscheidenden Projekt für unser Weltklima mitwirken zu können.

Saskia Busler



Durch meereisportal.de habe ich gelernt, wie faszinierend das Forschungsgebiet Meereis ist und welchen Einfluss es auf das globale Klima hat. Meereis ist für mich nichts Abstraktes mehr, sondern ich weiß jetzt, welche Bedeutung es für mein eigenes Leben hat. Dadurch versuche ich auch in meinem Alltag persönlich mehr für den Klimaschutz zu tun.

Ani Vasileva, Polina Stancheva, Argyri Paschalidi



Die Zusammenarbeit mit meereisportal.de in diesem Semester war eine großartige Erfahrung für uns. Wir konnten unser persönliches Wissen zu Meereis und anderen generellen Umweltfragen erweitern und uns bei der kreativen Nutzung der Social-Media-Kanäle persönlich voll einbringen. Wir wollen künftig auch privat den Problemen durch zurückgehendes Meereis mehr Aufmerksamkeit widmen und uns über mögliche Schutzmaßnahmen informieren.

DR. TONG-JIN SMITH LEHRKRAFT AM IFPUK & FREIE JOURNALISTIN



Auf den ersten Blick mag es erstaunlich wirken, dass für einen Forschungsverbund wie REKLIM angehende Journalisten und Kommunikatoren interessante Partner sind. Aber diese Zusammenarbeit zwischen den Studierenden am Institut für Publizistik- und Kommunikationswissenschaft der Freien Universität Berlin und REKLIM hat sich über die Jahre für beide als fruchtbare erwiesen. In einer Zeit, in der es kaum ein drängenderes Problem gibt als das Verstehen und die Anpassung an den Klimawandel, bleibt das Thema massenmedial gesprochen drastisch unterberichtet. Ein Bewusstsein dafür zu schaffen, betrachte ich als Teil meiner Arbeit. Gleichzeitig zeigt sich, dass ein modernes Verständnis von Wissenschaft und Wissenstransfer einer Professionalisierung auf Seiten der Wissenschaftler bedarf. Das Wissen um Wirkung und Praxis von Kommunikation im öffentlichen Raum ist zu einer notwendigen Schlüsselkompetenz geworden, wobei es darum geht, Dialogchancen zwischen Öffentlichkeit und Experten zu eröffnen. Hier setzen unsere gemeinsamen Praxisprojekte an. Akademisch betrachtet schaffen wir eine Brücke zwischen Theorie und Praxis. Auf der anderen Seite haben die Kollegen bei REKLIM die Möglichkeit, ihre Themen in den öffentlichen Diskurs zu tragen und sich dabei moderne Kommunikationskompetenzen anzueignen. Es ist immer eine bereichernde Erfahrung im Sinne eines Miteinander-Voneinander-Lernens. Oder anders ausgedrückt: eine Win-Win-Situation.

Parastu Sherafatian, Shuangji Ni



„Meereis“ war etwas, das wir eher von beeindruckenden Bildern oder aus Dokumentationen kannten. Die intensive Arbeit für meereisportal.de eröffnet uns neue spannende Perspektiven und eine Annäherung an das Thema. Mittlerweile ist das Meereis für uns ein greifbarer Lebensraum geworden, der plötzlich auch Thema in Diskussionen über Klimaforschung mit unseren Freunden ist.

Monja Gieschen



Durch das Praxisprojekt habe ich gelernt, wie wichtig die Polargebiete und die Meere für das globale Klimasystem sind. Dabei ist mir besonders bewusst geworden, wie wichtig es ist, Wissen kompakt und zielgruppengerecht zu vermitteln, damit komplexe Themen und Forschungsergebnisse für eine breite Masse verständlich werden.

Donia Hergli



Im Laufe unseres Projekts in Kooperation mit meereisportal.de ist mir insbesondere eine Sache aufgefallen: Das Meereis wartet sicher nicht darauf, dass wir unseren Bachelor fertig machen, bis es schmilzt. Wir müssen uns kümmern und es gibt Experten, die uns dabei helfen. Auf der Plattform meereisportal.de finden wir genau die Informationen und Menschen, die wir brauchen, um Wissenschaft und Aktivismus zusammenzubringen und es ist faszinierend zu sehen, wie viel Herzblut in Forschungsprojekten in den Polarregionen steckt.

Josefine Creutz



Die Zusammenarbeit mit meereisportal.de hat auf jeden Fall meine Aufmerksamkeit für die Menge an verwandten Themen geschärft. Das bedeutet, dass ich jetzt viel besser verstehe, welche Bedeutung die Arktis und Antarktis für unseren Planeten haben und welche besondere Verantwortung jeder von uns für deren Erhalt trägt.

Julia Blaß, Elias Joswich



Der Klimawandel beschäftigt uns natürlich alle, aber wirklich konkrete Indikatoren waren uns weniger geläufig. Die Arbeit mit den Informationen von meereisportal.de und die zugehörige Recherche für den Twitter-Kanal hat unser alltägliches Leben wirklich beeinflusst. Nachrichten aus der Politik oder Wirtschaft prüfen wir jetzt viel bewusster auf mögliche Auswirkungen auf das Meereis und die Polarregionen. Wir nehmen polarbezogene Nachrichten mehr wahr und gehen bewusster mit ihnen um.

Timo Liebergesell



Um einen Social-Media-Kanal zu pflegen, steigt man tief in ein Thema ein, und das geht nicht spurlos an einem vorbei. Ob nun die Hitzewelle im letzten Sommer vor der eigenen Haustür oder Wetterphänomene auf der anderen Seite der Welt. Ich habe jetzt wirklich das Gefühl, den Gründen für diese Entwicklungen auf der Spur zu sein und dem Zugang zu objektiven Informationen. Daher lasse mich nicht mehr so hilflos von medialer Berichterstattung lenken, sondern ordne das ganz anders ein.

Joy Schult, Anna Menne



Eisfrei statt schulfrei. In den Polarregionen bedeutet dies das Nichtvorhandensein von Meereis. Was vielleicht eine witzige Vorstellung sein mag, ist eine verschwindend bittere Realität. Das ist uns nach dem Projekt mehr als bewusst geworden. Manchmal sind ein kleiner Eisbär und Pinguin ein guter Anfang - jedoch muss einiges mehr auf der Welt geschehen, um unser Klima zu retten. Wir finden meereisportal.de macht einen tollen Job!

Sophie Bußmann



Ich fand die Zusammenarbeit sehr interessant und habe viel darüber gelernt, wie wichtig es ist, die Wissenschaft für Nicht-Wissenschaftler greifbar und verständlich zu machen. Außerdem habe ich die Bedeutung und Vielseitigkeit der Meereis- und Polarforschung näher kennenlernen dürfen, welche mir davor noch nicht in diesem Maße bewusst waren.

DR. RENATE TREFFEISEN

LEITERIN DES KLIMABÜROS FÜR POLARREGIONEN UND MEERESSPIEGELANSTIEG UND MITARBEITERIN DER REKLIM-GESCHÄFTSSTELLE



Ich arbeite als Wissenschaftlerin nun schon elf Jahre an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Gesellschaft: auch für den Forschungsverbund REKLIM. Hier ist es uns insbesondere ein Anliegen, mit unseren Formaten und Projekten junge Menschen zu erreichen. Wir erleben im Moment, wie sich junge Menschen auf der ganzen Welt in den Freitagsdemonstrationen *Fridays4Future* für Klimaschutz einsetzen. Bei diesen Protesten sprechen zum ersten Mal diejenigen, die am meisten vom Klimawandel und seinen Folgen betroffen sein werden, Kinder und Jugendliche. Das gibt ihrem Anliegen eine ganz andere Durchschlagskraft. Betroffene bewegen politisch immer mehr als Nichtbetroffene. Ein zweiter wichtiger Punkt unserer Arbeit z. B. mit meereisportal.de ist, dass wir unser Wissen, unsere Daten und Erkenntnisse aufbereitet einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung stellen wollen. Gerade in der heutigen Situation, der immer häufiger eingesetzten „Fake News“ und dem damit verbundenen „Realitätsverlust“, ist es uns besonders wichtig, dieser Entwicklung mit echten Fakten etwas entgegenzusetzen. Um dies tun zu können, bedarf es aber gut ausgebildeter „Vermittler“ und das sind Medienschaffende. Je früher sie verstehen, was Wissenschaft leistet, wie Wissenschaftler arbeiten und wie sie ihr Wissen erhalten, umso eher werden sie dieses auch vermitteln können und wollen. Gerade im Dialog und der Auseinandersetzung mit den Studierenden der Freien Universität Berlin im Seminar von Tong-Jin Smith wird ein wichtiger Prozess in Gang gesetzt, von dem beide Seiten sehr viel für ihre jeweils eigene Arbeit lernen können.



Mit Hilfe über 100 Jahre alter Wetterdaten versuchen Sturm- und Klimaforscher aus Hamburg herauszufinden, ob heute mehr Orkane über Deutschland hinwegtoben als in der Vergangenheit. Die Ergebnisse widersprechen der allgemeinen Wahrnehmung: Es stürmt nicht häufiger!

TEXT: KATJA TRIPPEL

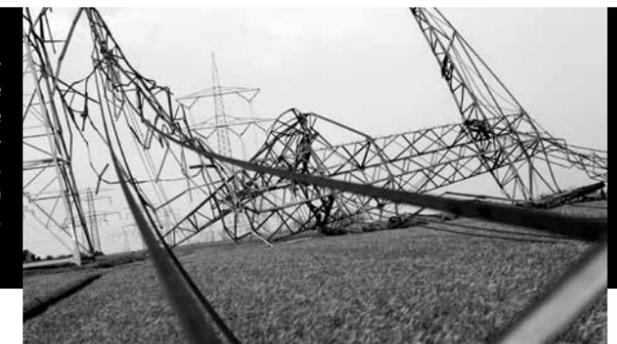
Die Sturmflut, die an Silvester 1913 auf Usedom zurollte, hatte eine zerstörerische Wucht. In Zinnowitz rissen ihre Wogen die Seebrücke weg, ein Orkan fegte das Ostseewasser bis auf den Schlossplatz von Wolgast. Dennoch wagten sich die pflichtbewussten Mitarbeiter der Hafen-Signalstationen mehrmals am Tag hinaus, hissten zur Warnung der Seeleute Sturmsignale und notierten in ihre Kladden: Schneetreiben, Windstärke 12 Beaufort, Wassertemperatur drei Grad. Der Sturm zog weiter, die Reichspost transportierte die Wetteraufzeichnungen zur Deutschen Seewarte in Hamburg. Dort wurden sie archiviert, wie alle „Witterungserscheinungen“, die sogenannte Sturmsignalisten ab dem Jahr 1877 an insgesamt 164 Stationen an der Deutschen Bucht und der südlichen Ostseeküste in Sütterlin dokumentierten. Der Grund: Seit der amerikanischen Seeoffizier Matthew Fontaine Maury Mitte des 19. Jahrhunderts bei der Auswertung historischer Seetagebücher her-

ausgefunden hatte, dass sich Stürme wie Flauten im Jahresverlauf regional häufen, interessierte man sich auch im Deutschen Reich für das Seewetter. Mit eigenen meteorologischen Forschungen wollte die Deutsche Seewarte im Auftrag des Kaisers die Marine- und Handelskapitäne bei der Routenfindung unterstützen und verpflichtete diese, ebenso wie Angestellte an Nord- und Ostseehäfen, mindestens dreimal täglich Temperatur und Druckverhältnisse zu messen sowie den Wind per Augenmaß in der Beaufort-Skala einzustufen: von 0 (windstill) über 5 (frische Brise, Äste schaukeln, Schaumköpfe auf den Wellen) bis 12 (Orkan, schwerste Verwüstungen, keine Sicht).

Im Keller wiederentdeckt

Bis zum Jahr 1999 waren Sturmsignalisten im Einsatz, ihre Aufzeichnungen landeten im Keller des Seewetteramts in Hamburg Sankt Pauli, dem Nachfolger der Seewarte. Dort stieß der Meteorologe Dr. Birger Tinz vom

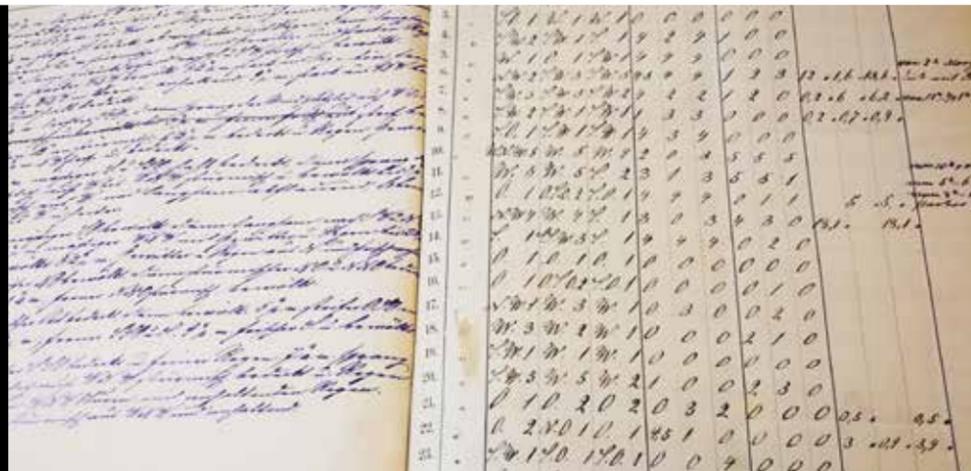
Von einem Winterorkan aufgepeitschte Wellen brechen über eine Ufermauer der Insel Helgoland. Die Schadensbilanz eines solchen Sturmtiefs ist in der Regel beträchtlich. Abgeknickte Strommasten (rechts) gehören häufig dazu.



STÜRMISCHE
ZEITEN?



Zwei Mitarbeiterinnen einer Sturmwarnstation rollen einen sogenannten Windball zum Signalmast. Wurde dieser Ball am Mast aufgehängt, wusste jedermann, der ihn sah, dass der Wind mit einer Stärke von 6 bis 7 Beaufort wehte.



Im Keller des Seewetteramtes Hamburg entdeckte Wetterdienst-Mitarbeiter Birger Tinz (unten) die in Leder gebundenen Aufzeichnungen der Sturmwarnsignalisten. Ihre Tabellen und Berichte sind eine wertvolle Datenquelle für die moderne Sturmforschung und werden deshalb digitalisiert.



Deutschen Wetterdienst vor ein paar Jahren auf die fast vergessenen, in schwarzes Leder eingebundenen Bücher - und ahnte gleich, einen Forschungsschatz zu bergen. „Solche historischen Langzeitbeobachtungen sind sehr wertvoll, um Stürme regional zu erforschen“, erklärt Tinz. „Zumal für den Ostseeraum gute Wind- und Luftdruckdaten fehlen, mit denen sich die Sturmaktivität in der Vergangenheit rekonstruieren lässt. Das Wissen darüber interessiert nicht nur Betreiber von Häfen oder Offshore-Windparks, sondern jeden, der einen Baum vor der Haustür stehen hat.“ Die Schäden, die Orkane und Stürme auch in unseren Breiten anrichten können, sind ohne Zweifel beträchtlich. Vermutlich jeder Mensch älter als 35 Jahre erinnert sich an den Winter 1990, als acht Orkane in Folge, darunter das berühmte Sturmduo Vivian und Wiebke, zahllose Gebäude und Wälder zerstörten und 64 Menschen töteten. Oder an Lothar, den Jahrhundertsturm, der am zweiten Weihnachtsfeiertag 1999 mit Rekordböen von 272 Kilometer pro Stunde in halb Europa tödliche Unfälle und Aufräumkosten von zehn Milliarden Euro verursachte. 2007 tobte dann Kyrill so wild übers Land, dass die Deutsche Bahn erstmals ihren Verkehr komplett einstellte.

Medien verändern die Gefahrenwahrnehmung

Jüngere Orkane wie Xaver (2013), Ela (2014), Felix (2015) oder Friederike (2018) wüteten weniger heftig - Schreckensbilder über abgedeckte Häuser oder entwurzelte Bäume, die als mediale Begleiterscheinung über Facebook oder YouTube flimmern, lösen jedoch bei vielen Menschen das Gefühl aus, immer häufiger einer Katastrophe beizuwohnen. Doch ist diese Wahrnehmung auch korrekt? Zumindest für Hamburger, die das Institut für Küstenforschung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht seit dem Jahr 2008 jährlich befragt, wie sie den Klimawandel und seine Folgen wahrnehmen, scheint die Sache klar: 2018 nennen zwar erneut die meisten Befragten (64 Prozent) Überschwemmungen als Naturkatastrophe mit den potentiell schwersten Folgen. Doch mit 19 Prozent schätzen mehr Elb-Anrainer als je zuvor

Stürme als größte Bedrohung ein; 2008 waren es nur neun Prozent gewesen. Wissenschaftler sind per se skeptischer, vertrauen lieber auf Zahlen, vorzugsweise auf gute. Und je mehr davon vorhanden sind, umso besser. Vor diesem Hintergrund lässt Birger Tinz die historischen Aufzeichnungen der Sturmwarnsignalisten nun Seite für Seite lesbar machen und digitalisieren - ein Mega-Projekt. Parallel begann Tinz' Mitarbeiterin Dr. Dörte Wagner in ihrer Doktorarbeit zu analysieren, wie valide die Daten sind. Sprich: Ob die Signalisten gute Arbeit geleistet hatten. Dafür prüfte sie in Zusammenarbeit mit Kollegen vom Institut für Küstenforschung am Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG), inwieweit die Wind- und Luftdruckdaten ausgewählter Signalstationen mit Daten regulärer Wetterstationen sowie den Wetterkarten der kaiserlichen Marine übereinstimmten. Ergebnis: Während des Silvestersturms 1913 lag nur eine Station von circa 100 Stationen regelmäßig daneben. Die anderen Sturmwarnsignalisten lobt Tinz voller Respekt: „Die konnten sich aus, das waren echte Seebären!“ Mittlerweile liegen diese digitalisierten Daten der Sturmwarnsignalisten bei der Klimaforscherin Dr. Frauke Feser, die am Institut für Küstenforschung in Geesthacht Stürme untersucht und die Sturmforschung koordiniert. Gemeinsam mit ihrem Kollegen Dr. Oliver Krüger wertet sie meteorologische Zeitreihen aus verschiedenen Quellen statistisch aus - etwa von Messstationen des Deutschen Wetterdienstes, die ab 1875 aktiv waren, von Wetterstationen in Island, Norwegen, Irland oder aus internationalen Datenbanken zum Luftdruck, wie sie z. B. die WMO (World Meteorological Organisation) bereitstellt.

Luftdruck ist verlässlichste Größe

Daten zur Windstärke und Windrichtung sind dabei weit weniger relevant als zum Luftdruck. „Windmessungen allein gelten nicht als verlässliche Größe, um die Sturmaktivität über einen längeren Zeitraum zu beschreiben“, erklärt Feser. „Denn das Messergebnis hängt stark von der Umgebung ab. So werden beispielsweise an einem Hamburger Sturmtag am Flughafen ganz andere Werte

VORAUSSGEDACHT

„Ich möchte herausfinden, warum es in der Vergangenheit zu diesem Wechsel zwischen starken und schwachen Sturmphasen kam. Und dafür untersuchen wir, welche Mechanismen ursächlich für die langfristige Entwicklung des Sturmklimas in unseren Breiten, aber auch weltweit sind.“

FRAUKE FESER
Klimamodelliererin am Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG)



gemessen als am Hafen.“ Für zuverlässige Messreihen ist zudem hinderlich, dass Stationen in der Vergangenheit oft an einen anderen Ort verlegt wurden. Und auch durch andere Einflüsse sind langjährige Windmessungen fehleranfällig: „Wächst etwa nahe einer Messstation über die Jahre ein Wäldchen oder wird ein neues Gebäude errichtet, verändert dies das Messergebnis deutlich“, sagt die Wissenschaftlerin.

Um zu erfahren, wie sich die Intensität der Stürme über Nord- und Ostsee in der Vergangenheit entwickelt hat, arbeitet Fesers Kollege Oliver Krüger daher mit historischen Luftdruckdaten - und zwar von Messstationen, die mindestens 500 und maximal 800 Kilometer voneinander entfernt sind. Mit ihnen hat er Dreiecke gebildet, in denen sich der sogenannte geostrophische Wind ermitteln lässt - einer, für die mittleren Breiten, passenden Annäherung der atmosphärischen Zirkulation. „Je mehr dieser Dreiecke wir berechnen, umso exakter lassen sich die Sturmgeschichte des Nordatlantiks sowie jene der Nord- und Ostsee analysieren“, so Krüger.

Überraschende Erkenntnis

Sein Ergebnis mag überraschen: „Es gibt weder mehr noch stärkere Stürme“, fasst der Klimaforscher zusammen. Gleichwohl ist die chronologische Entwicklung etwas komplexer, ergänzt Feser. „Betrachten wir nur die Entwicklung der letzten 50 Jahre, nimmt die

Anzahl der starken Stürme über Deutschland ab Mitte der 1960er Jahre insgesamt zu. Schauen wir aber 100 Jahre weiter zurück in die Vergangenheit und weiter vor in die jüngeren 2000er Jahre, zeichnet sich kein Langzeittrend ab.“ Stattdessen wechseln sich Dekaden mit übermäßig vielen Stürmen ab mit ruhigeren Dekaden. So sei die Zahl der Stürme seit Mitte der 1990er Jahre - entgegen der öffentlichen Wahrnehmung - wieder auf den langjährigen Durchschnitt gesunken. „Wir haben also beim Wind keine zunehmende Entwicklung wie bei den Luft- und Meerestemperaturen, sondern eher Wellen, die über mehrere Jahre mal stärker und mal schwächer sind“, betont die Expertin. Warum das so ist? Frauke Feser: „Das erforschen wir derzeit. Und die Daten der Sturmsignalisten werden uns dabei hoffentlich weiterhelfen.“ Birger Tinz vom Deutschen Wetterdienst wiederum freut sich, mit den alten Wetteraufzeichnungen „einen Teil zum großen Sturmpuzzle“ beitragen zu können. Ihn hat

bei den bisherigen Datenanalysen vor allem erstaunt, dass die Ostsee offenbar nicht weniger stürmisch ist als die Nordsee. „Das ist nicht nur für Urlauber oder Segler interessant, sondern auch für Investoren, die zum Beispiel Offshore-Windparks aufbauen wollen“, meint der Meteorologe. „Das Wissen darüber, wo die Winde wie stark in den letzten 150 Jahren wehten, ist sehr wichtig, wenn man sich für oder gegen einen Standort für Windparks entscheiden muss.“ Ob der Blick in die Vergangenheit bald auch einen in die Zukunft erlaubt, kann er hingegen nicht versprechen. Und auch Klimaforscherin Feser gibt sich zurückhaltend: „Wir müssen noch besser verstehen, warum es zu den jahrzehntelangen Schwankungen kam, und wie verschiedene Effekte des Klimasystems und des Klimawandels die Sturmaktivität in unseren Regionen beeinflussen. Erst wenn wir die Sturmaktivität der Vergangenheit verstehen, können wir Erkenntnisse für die Zukunft gewinnen.“

KOMPAKT

- Windstärke und -richtung sind meist keine geeigneten Messgrößen, um die langfristige Sturmentwicklung zu erforschen. Zuverlässiger sind Messdaten zum atmosphärischen Druck.
- Der Winter 1990 war einer der stürmischsten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen: Acht Orkane in Folge tobten über Deutschland.
- Insgesamt nehmen die Zahl und Heftigkeit der Stürme über Deutschland nicht zu - vielmehr wechseln sich stürmische Dekaden, wie Anfang der 1990er, und weniger stürmische wie derzeit ab.

HZG-Klimamodellierer Frauke Feser und Oliver Krüger nutzen die historischen Luftdruckdaten der Sturmsignalisten, um die Sturmhäufigkeit der Vergangenheit zu rekonstruieren und herauszufinden, aus welchen Gründen sie über Nordeuropa wellenförmig zu- und wieder abnahm. Daran schließt sich die auch für viele Industriezweige wichtige Frage an: Wie verändert der Klimawandel die Entwicklung der Sturmtiefs? Bislang deutet vieles darauf hin, dass die Stürme in Zukunft stärker und sich ihre Zugbahnen Richtung Osten verlagern werden.



DIE ZÜGE SOLLEN ROLLEN, AUCH BEI STURM

PRAXISBEZUG

Der diplomierte Forstwirt Felix Gerhardt leitet seit Sommer 2018 das Team „Vegetation- und Naturgefahrenmanagement“ bei der DB Netz AG.

► **Herr Gerhardt, Naturgefahrenmanagement - das klingt nach einer spektakulären Einsatztruppe. Was genau tun Sie?**

Wir sind ein vierköpfiges Team, bestehend aus einem weiteren Forstwirt, einem Wasserwirtschaftsingenieur und einer Geowissenschaftlerin. Unser Auftrag lautet, effiziente Vorsorge- und Aufräummaßnahmen zu planen, damit der Bahnverkehr bei Extremwetterlagen wie Orkanen oder massiven Wintereinbrüchen besser rollt als bisher.

► **Wie gehen Sie dabei vor?**

Zuerst analysieren wir, was bisherige Ereignisse, wie etwa Starkstürme, angerichtet haben - und was uns in der Zukunft erwarten könnte. Ganz praktisch befassen wir uns mit der Vegetation rund um unsere Anlagen: Wie lässt sich vermeiden, dass Bäume oder Äste infolge von Stürmen oder Schnebruch auf Bahngleise stürzen und somit Verspätungen verursachen?

► **Gute Frage! Wie wollen Sie das denn künftig vermeiden?**

Für 2019 haben wir das Ziel, unser Kernnetz - ungefähr 6 000 Kilometer! - auf potentielle

„Umsturz Kandidaten“ zu prüfen. Zu diesem Zweck testen wir derzeit, ob wir mit Drohnenbildern und spezieller Software einige Waldabschnitte auf Tablets darstellen und prüfen können. Sechs Meter rechts und links der Gleise, in der sogenannten Rückschnittzone, werden wir die Vegetation komplett zurückschneiden. In der Stabilisierungszone 20 bis 30 Meter außerhalb dieses Bereiches wollen wir den Wald besser durchforsten, um den Bestand resistenter gegen Stürme zu machen. Das heißt: Risiko-Bäume werden beschnitten oder gefällt, stabile Bäume werden gezielt gefördert - natürlich nur außerhalb der Brutzeiten. Dabei sind wir allerdings auf die Unterstützung von Waldbesitzern, Behörden und Verbänden angewiesen.

► **Kooperieren Sie auch mit Klimaforschern?**

Wir nehmen an einer Vielzahl von Experten Netzwerken teil und organisieren selbst einen regen Austausch zwischen den europäischen Bahnen sowie mit Instituten aus Wissenschaft und Technik. Der Klimawandel ist kein lineares Phänomen, daher müssen wir auch unsere Konzepte ständig validieren und gegebenenfalls aktualisieren. ■

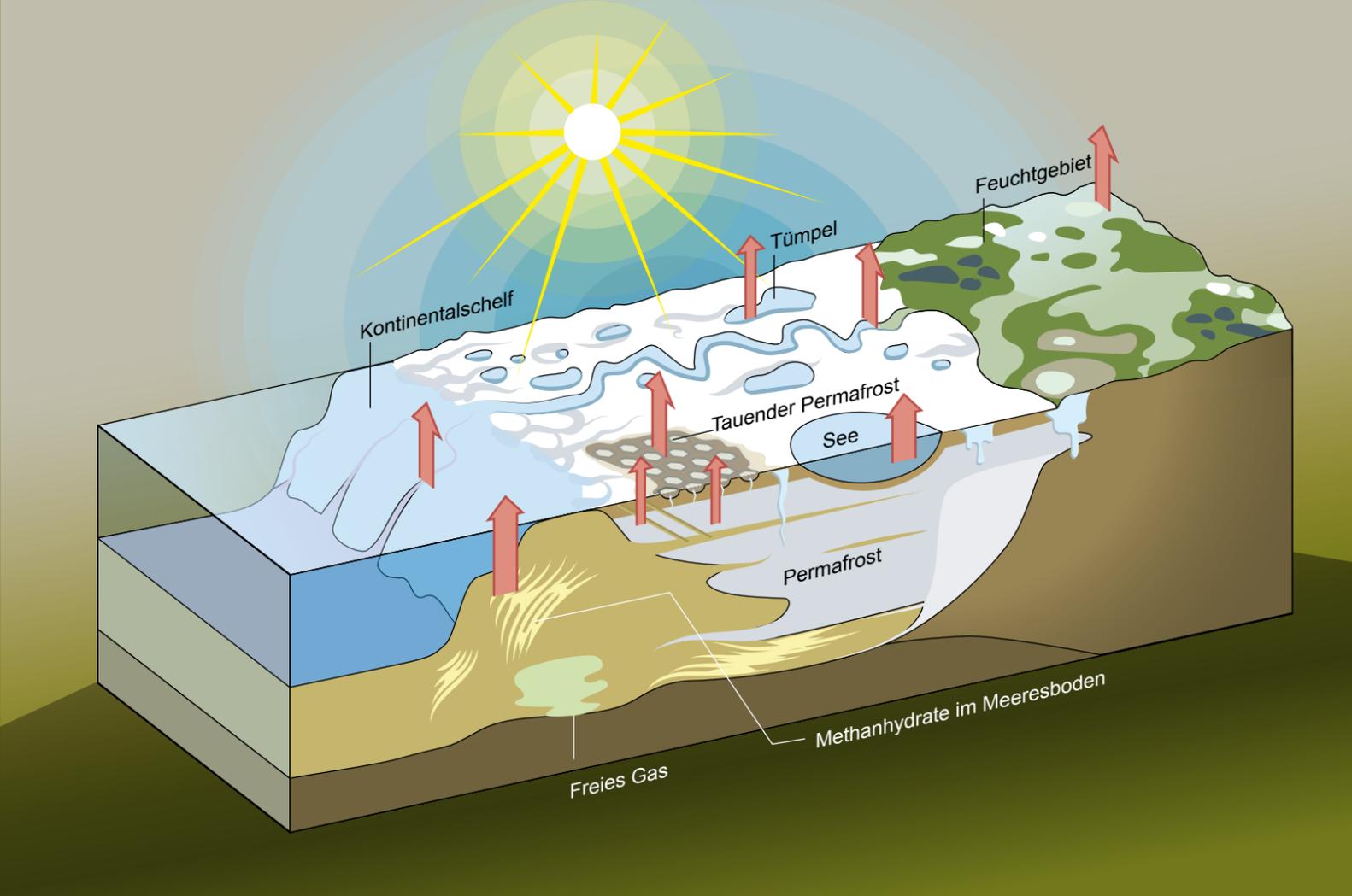
DIE ÜBERFLIEGERIN

TEXT: KATJA TRIPPEL

Wie viel Methan emittieren arktische Permafrostböden und renaturierte norddeutsche Moore? Katrin Kohnert und Kollegen am GeoForschungsZentrum Potsdam gehen in die Luft, um mehr über das Klimagas zu erfahren.



Von Bord des Forschungsflugzeuges Polar 5 hat Umweltwissenschaftlerin Katrin Kohnert (kl. Bild) einen freien Blick auf das Mackenzie-Delta im Nordwesten Kanadas. Zeit, die Aussicht zu genießen, bleibt jedoch selten. Stattdessen überwacht sie Messgeräte, die den Methangehalt der Luft erfassen.



Mit der Polar 5-Bordkamera gelang den Wissenschaftlern die Aufnahme eines ausgelassenen Sees im Mackenzie-Delta (links). Das Entstehen und Auslaufen von Seen in Permafrostregionen sind ein untrügliches Zeichen, dass die ehemals dauerhaft gefrorenen Böden allmählich auftauen. Dabei wird auf unterschiedliche Weise Methan freigesetzt, wie die Infografik zeigt.

Schon an normalen Tagen hat es Dr. Katrin Kohnert mit ihrem Arbeitsplatz gut getroffen: Das Büro der Postdoktorandin im Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) liegt auf dem Potsdamer Telegrafenberg, inmitten duftender Kiefern, direkt neben dem legendären Einsteinurm-Observatorium, in dem Deutschlands wohl berühmtester Wissenschaftler ab 1924 mit Kollegen versuchte, seine Gravitationstheorie experimentell zu überprüfen. Erst recht strahlt Katrin Kohnert aber, wenn sie beginnt, von ihren Forschungsreisen in die Arktis zu erzählen. Da sitzt sie nämlich an Bord der Polar 5 - einer alten DC3-Maschine, die das Alfred-Wegener-Institut (AWI) zum

Forschungsflugzeug umgebaut hat - und fliegt stundenlang über die sommerliche Tundra. Mal über das kanadische Mackenzie-Delta, mal über die Küstenlandschaft der North Slope in Alaska. Auf nur rund 50 Meter Höhe, spricht: mit freiem Blick auf ein Mosaik aus Grüntönen, die je nach Saison von lila Blüten oder weißem Wollgras gesprenkelt sind, auf sich windende Flussarme, Karibuherden und funkelnde Seen - zumindest dann, wenn der Monitor vor ihren Augen anzeigt, dass ihre Methan-Messungen wie gewünscht funktionieren. Denn, um die geht es eigentlich bei Kohnerts Forschungsflügen: Die Wissenschaftlerin erforscht seit 2013 gemeinsam mit Kollegen, der von

Prof. Torsten Sachs geleiteten GFZ-Arbeitsgruppe Erde-Atmosphäre-Wechselwirkungen, wie viel Methan die Böden der arktischen Tundra in die Atmosphäre emittieren, wenn sie im Sommer auftauen. Methan, das Klimagas mit einem Kohlenstoff- und vier Wasserstoff-Atomen (CH_4), hat eine bis zu 28-Mal stärkere Treibhausgaswirkung als Kohlendioxid (CO_2). „Nach derzeitigem Erkenntnisstand stammen über 55 Prozent der Methan-Emissionen aus dem Bergbau, entstehen durch Vieh- und Landwirtschaft sowie auf Mülldeponien. Sie werden also direkt vom Menschen verursacht“, weiß Katrin Kohnert. „Der Rest wiederum stammt aus natürlichen Quellen,

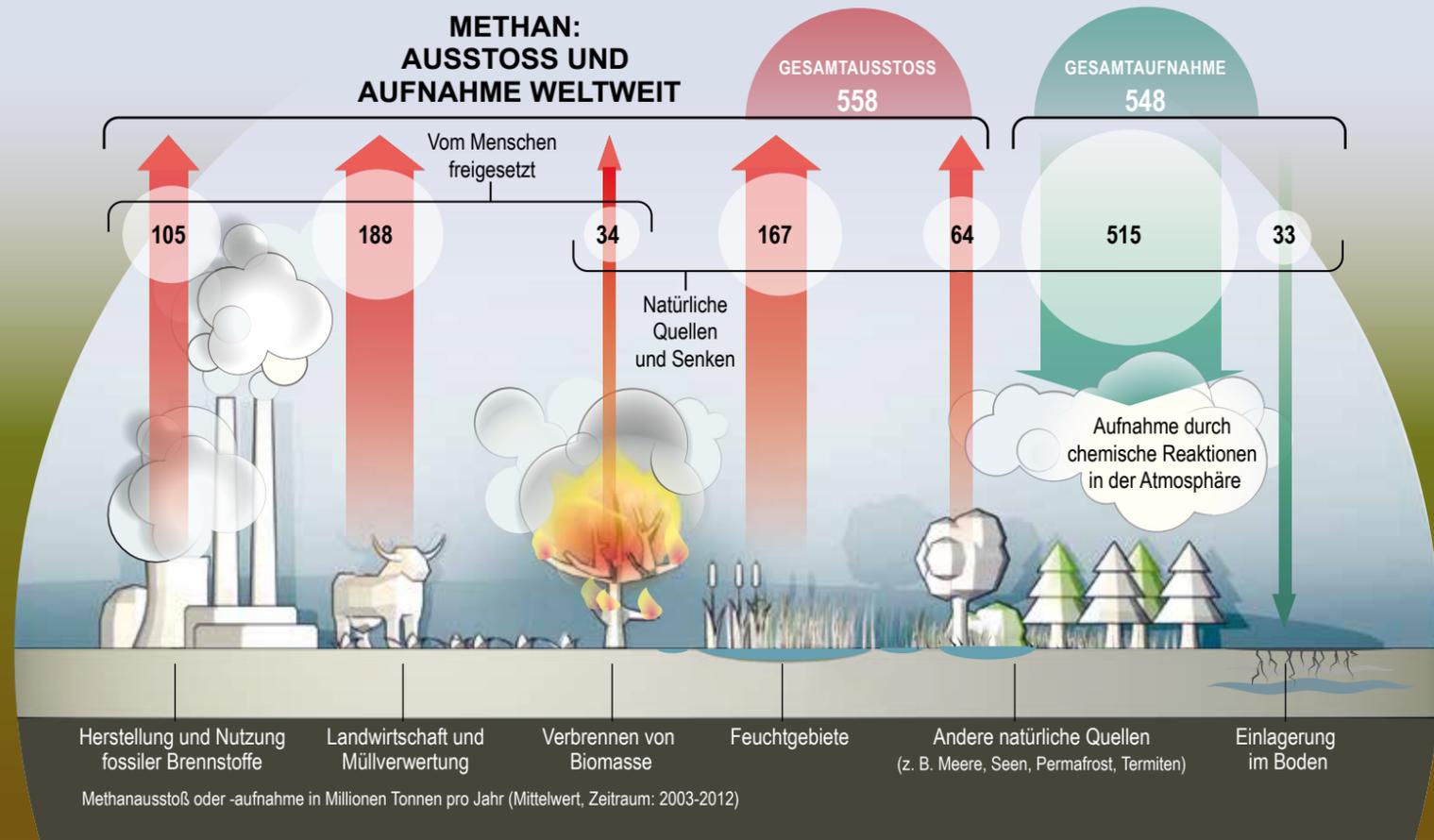
vor allem aus Feuchtgebieten, wo es im Boden, in Tümpeln oder in Seen infolge natürlicher Fäulnisprozesse entsteht.“ Doch auch da kommt zunehmend der Mensch ins Spiel. Denn während dauerhaft gefrorene Böden organischen Kohlenstoff halten wie eine geschlossene Eistruhe, passiert auf Böden, die infolge der Klimaerwärmung auftauen, das Gegenteil: Der Deckel öffnet sich, die mikrobielle Zersetzung beginnt und entlässt Methan in die Atmosphäre.

Kohlenstoffspeicher Moor

Die Permafrost-Zone umfasst etwa ein Viertel der Landfläche der nördlichen Hemisphäre. Tatsächlich permanent gefroren

sind davon etwa 15 Mio. km^2 , zumeist in der Arktis. Doch ausgerechnet sie erwärmt sich schneller und stärker als andere Regionen der Erde. Moore wiederum bedecken nur drei Prozent der Erdoberfläche, speichern aber 25 Prozent des organischen Bodenkohlenstoffs; das entspricht dem Doppelten dessen, was global in Wäldern gespeichert ist. Beide Landschaftstypen sind klimatisch also äußerst bedeutsam. Um die Klimawirkung der Permafrostböden genauer einschätzen zu können, ermittelt Katrin Kohnert beim Flug über ihre bis zu 100 000 Quadratkilometer großen Untersuchungsgebiete Daten zum natürlichen Gasaustausch. Für das Projekt „Airborne

Measurements of Methane Fluxes“ oder kurz AIRMETH haben AWI-Techniker die alte DC3 in wochenlanger Vorarbeit mit diversen Messgeräten ausgestattet: Vorne am Bug befinden sich Sensoren für Temperatur und Feuchte sowie für Windstärke und -richtung. Über eine Öffnung im Dach des Flugzeuges pumpt ein Rohrsystem Außenluft in einen Gasanalysator, der die Gaskonzentration von Kohlendioxid und Methan sowie den Wasserdampfgehalt in sehr hoher Geschwindigkeit aufzeichnen kann. „Auf einer Flughöhe von rund 50 Metern können die Messsysteme die Austauschprozesse zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre gut erfassen“, erklärt die Wissenschaftlerin.



Für ihre Messungen im sibirischen Lena-Delta setzte Katrin Kohnert den Heliopod ein (l.). Er wurde von einem Hubschrauber über die Tundragebiete geschleppt. Start- und Landepunkt war die russische Forschungsstation „Insel Samoylov“ - zu erkennen an ihren farbigen Gebäuden (u.). Der globale Methan-Haushalt zeigt: Industrie und Landwirtschaft setzen derzeit weltweit mehr Methan frei als Moore oder tauende Permafrostböden (o.).

Sprich: Nur dann können sie zum einen messen, wie viel Kohlendioxid der Vegetation durch Photosynthese entzogen wird, und zum anderen, wieviel Methan freigesetzt wird. Katrin Kohnerts Aufgabe war es, die Flug-Kampagnen bis ins Detail vorzubereiten. „Ich kümmere mich um die Planung der Flugroute. In der Luft wiederum muss ich darauf achten, dass der Druck im Gasanalysator stabil bleibt, sonst ist alles für die Katz.“

Eine gute Nachricht

Vier Wochen blieb ihr Team pro Forschungskampagne jeweils vor Ort, untergebracht sind die Wissenschaftler häufig in Gemein-

schaftsunterkünften mit „Wellblechhütten-rustikal-Charme“, wie Katrin Kohnert sie grinsend nennt. „Man muss sich schon mögen, damit das klappt“, lacht auch Teamleiter Torsten Sachs, „erst recht, wenn wegen schlechten Wetters oder technischer Probleme der Flugplan durcheinandergerät. Ist ja schließlich kein Urlaub.“

Für ihre Doktorarbeit, die sie Ende 2018 verteidigte, hat Katrin Kohnert neben ihren Messdaten auch Informationen aus Satellitenbildern in die Analyse einbezogen. „Mich interessierte, ob es räumliche Muster bei den Emissionen gibt, etwa ob Seen mehr Methan ausstoßen“, berichtet sie. Ihre Ergebnisse stellt sie auf Karten dar - eine Pionierarbeit,

die auf extrem aufwändigen Rechenverfahren basiert und deren Ergebnisse die Arbeitsgruppe durchaus überraschten. „Erste Erkenntnisse weisen darauf hin, dass zumindest in Alaska die Böden nicht so viel Methan emittieren wie stationäre Messungen der Kollegen am Boden es vermuten ließen“, fasst Katrin Kohnert zusammen. „Und auch Seen und Tümpel, die als „Hot-Spots“ verdächtigt waren, verhalten sich eher unauffällig.“ Torsten Sachs ergänzt: „Das ist zumindest klimatechnisch eine eher gute Nachricht.“

Auch in Norddeutschland, genauer: in Moor- gebieten Mecklenburg-Vorpommerns, misst Sachs' Team Klimagas-Emissionen. Viele

Hundert Hektar entwässerte und intensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen wurden dort nach der Wende zu Feuchtbiotopen renaturiert, damit Tiere und Pflanzen wieder natürlich wachsen und gedeihen können - aber auch, um die hohen CO₂-Emissionen zu senken, die bei der Nutzung trockengelegter Moorböden entstehen. Insgesamt sollen sich auf einer Fläche von 37 000 Hektar wieder Moore bilden.

Welchen Klimaeffekt die Renaturierungsmaßnahmen haben, messen die Potsdamer Experten auch hier aus der Luft, allerdings mit einem Motorsegler und aufgrund der vielen Strommasten und Windkraftanlagen auf 150 Meter Höhe. Zusätzlich betreiben sie



VORAUSSGEDACHT

Im Moment ist noch sehr unsicher, wie viel Methan in der Arktis und in Mooregebieten tatsächlich freigesetzt wird, weil es uns an Verständnis und Daten für die komplexen Systeme mangelt. Mit meinen Messungen will ich helfen, Licht ins Dunkel zu bringen.

KATRIN KOHNERT,
Umweltwissenschaftlerin am Deutschen GeoForschungszentrum (GFZ) und am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)



Mithilfe einer kleinen Messstation erfasst Geoforscher Torsten Sachs (kl. Bild) die Methanemissionen des Polders Zarnekow, einem Feuchtbiotop an der Peene in Mecklenburg-Vorpommern.

gemeinsam mit Rostocker Kollegen stationäre Messtürme und weitere Bodenmessungen. Ihr vorläufiges Ergebnis lautet: Was dem Natur- und Artenschutz dient, hat nicht zwangsläufig sofort positive Klimaeffekte: „Nachdem das Hütelmoor an der Ostseeküste bei Rostock im Jahr 2009 geflutet wurde, stieg der Methan-Ausstoß zunächst um das 100-fache an“, berichtet Torsten Sachs. „Schon 2011 haben sich die Emissionen auf etwa ein Drittel reduziert, aber dieses Niveau bleibt seither relativ konstant“.

Emissionen halten an

Im Polder Zarnekow an der Peene, dessen Deiche 2005 durchstochen wurden, warten die Wissenschaftler hingegen bis heute, dass der Methanausstoß deutlich sinkt. Auch Kohlendioxid wurde bislang deutlich mehr emittiert als sie erwarteten. Im Jahr 2018 war der Polder erstmals eine CO₂-Senke. „Die dortigen massiven landwirtschaftlichen

Umweltingriffe haben offenbar sehr langfristige Folgen“, sagt Sachs. Ein Grund könnte sein, dass in den wiedervernässten, einst intensiv gedüngten Böden genügend methan-produzierende Urbakterien (Archaeen) leben, die das verfügbare Biomaterial für ihren Lebensunterhalt zersetzen und dabei Methan abgeben, ihre Gegenspieler, die Oxidierer, aber mehr Zeit brauchen, um sich zu etablieren. Die Klimaexperten schlagen daher vor, bei künftigen Renaturierungsprojekten die oberen Bodenschichten

abzutragen, bevor man die Fläche flutet. „Im besten Fall lassen sich so negative Effekte verringern“, hofft Sachs. Auch wenn noch viele Fragen zur Klimawirkung von Moor- und Permafrostgebieten offen sind, scheint eines doch klar für das Potsdamer Team: Ungestörte Feuchtgebiete garantieren, dass wenig Kohlendioxid und Methan freigesetzt werden. Menschliche Eingriffe jedoch können das Gleichgewicht der fragilen Biotope langfristig zerstören und sollten daher im Vorfeld umso besser überlegt sein.

KOMPAKT

- Tauen Permafrostgebiete auf, emittieren sie das klimaschädliche Gas Methan. In welchen Mengen, wird derzeit erforscht.
- Mit Hilfe von Turmmessungen sowie tieffliegender, speziell ausgerüsteter Flugzeuge lässt sich der Gasaustausch großräumig dokumentieren.
- Renaturierungsprojekte in norddeutschen Mooren wirken sich positiv auf Natur- und Artenschutz aus. Im Hütelmoor und im Polder Zarnekow wurden bislang eher negative Klimaeffekte beobachtet. Es macht daher Sinn, die Renaturierungsmethoden zu optimieren.

PRAXISBEZUG

BEI UNS TREFFEN WELTEN AUF EINANDER

Klimathemen auf dem Berliner Filmfestival: Kann das gutgehen? Und ob, sagt Anna Kalbhenn, Projektleiterin und Co-Kuratorin der Berlinale-Sonderreihe „NATIVE - a Journey into Indigenous Cinema“. Seit nunmehr drei Jahren bringen sie, die DEKRA Hochschule für Medien Berlin und REKLIM erfolgreich Forscher und Filmschaffende zusammen und das Kinopublikum kommt in Scharen.

► **Frau Kalbhenn, seit 2017 organisieren Sie zusammen mit dem Klimabüro für Polargebiete und Meerespiegelanstieg am Alfred-Wegener-Institut Berlinale-Veranstaltungen, bei denen sich Forscher mit Filmschaffenden austauschen. Wie kam es dazu?**

Anna Kalbhenn: Ein bisschen durch Zufall: Die DEKRA Hochschule für Medien Berlin und REKLIM hatten in jenem Jahr den Fokus ihrer langjährigen Medien-Kooperation auf das Thema Permafrost gerichtet - unter anderem, weil die Verantwortlichen im Jahr davor in die russische Teilrepublik Jakutien gereist waren und dort viele Kontakte



zu indigenen Gemeinschaften geknüpft hatten. Aus dieser Arbeit entstand dann die Idee, bei der Berlinale eine gemeinsame Gesprächsrunde über Klimawandel und indigenes Leben zu initiieren und REKLIM an Bord zu holen. Ein Thema, das sowohl Wissenschaftler als auch Filmschaffende interessiert.

► **Und wie läuft das ab?**

Passend zu den Regionalschwerpunkten von NATIVE - bislang ging es um die Arktis sowie um Inseln im Pazifik - luden wir zusammen mit REKLIM und der DEKRA Hochschule für Medien zu einer Diskussionsveranstaltung mit verschiedenen Experten ein: Forscher, Regisseure, Produzenten. Im Jahr 2017 war eine Filmproduzentin aus Jakutien dabei, in 2018 eine Schriftstellerin aus Tahiti, deren Poesie in einen Dokumentarfilm einfließt, und in diesem Jahr eine Filmschaffende von den Salomonen - und natürlich das Publikum. Da entwickeln sich schnell spannende Gespräche und manchmal auch neue Projekte.

► **Kommt die Veranstaltung gut an?**

Sehr gut sogar, gerade weil Welten aufeinander treffen, die sich sonst selten begegnen: Kunst, Film, Wissenschaft und interessierte Zuschauer. Die Leute erfahren, wie indigene beziehungsweise wissenschaftliche Experten die Zeichen und Folgen der Klimaerwärmung jeweils einschätzen. Und alle lernen ein Stück weit voneinander, wie sich das Thema in die Öffentlichkeit tragen lässt. Wir als Filmfestival wiederum freuen uns, wenn wir mit solchen Formaten einen Bewusstseinswandel anstoßen. ■



ANNA KALBHENN ist Projektleiterin und Co-Kuratorin der Sonderreihe „NATIVE - a Journey into Indigenous Cinema“ bei der Berlinale. NATIVE bietet indigenen Filmschaffenden aus aller Welt eine Bühne, kurze und lange Spiel- und Dokumentarfilme zu zeigen.

#KLIMAFIT - EINE IDEE WIRD GROSS

Ohne Wissen, kein Klimaschutz: Dieser Logik folgend haben REKLIM und seine Partner ein bislang einmaliges Projekt gestartet. In Kompaktkursen bilden sie interessierte Bürger zu Klima-Multiplikatoren aus - in der Volkshochschule vor Ort und mit einem Lehrplan, der exakt auf die Heimatregion der Teilnehmenden zugeschnitten ist. Ein Projekt, das in kleinen Schritten begann und jetzt richtig Fahrt aufnimmt, wie dieser Zeitstrahl zeigt.

2008

DER ERSTE GRUNDSTEIN WIRD GELEGT

Das Bundesumweltministerium beschließt, im Rahmen der Klimaschutzinitiative für Kommunen Gelder für die Anstellung eines Klimaschutzmanagers bereitzustellen. Diese Fachleute sollen helfen, Klimaschutzkonzepte für Städte und Gemeinden zu entwickeln und umzusetzen.

2015

EINIGUNG AUF DAS GLOBALE KLIMAZIEL

Auf der 21. UN-Klimakonferenz in Paris einigen sich im Dezember 2015 die Regierungsvertreter von 195 Ländern erstmals auf ein allgemeines, rechtsverbindliches Übereinkommen zum weltweiten Klimaschutz. Es umfasst einen globalen Aktionsplan, mit dem die Erderwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius begrenzt werden soll.

< 2°

2016

AMBITIONIERTER PLÄNE FÜR DEUTSCHLAND

Im November 2016 verabschiedet die deutsche Bundesregierung ihren Klimaschutzplan 2050. Damit ist Deutschland eines der ersten Länder, welche die im Pariser Abkommen geforderte Klimaschutzlangfriststrategie erstellen und bei den Vereinten Nationen vorlegen. Deutschlands Langfristziel ist es, bis zum Jahr 2050 weitgehend treibhausgasneutral zu werden.

2016

EIN MANN FASST EINEN ENTSCHLUSS

In Emmendingen, einer 28 000-Seelen-Gemeinde im Südwesten Baden-Württembergs, erkennt Klimaschutzmanager Armin Bobsien, dass eine Stadt oder Gemeinde nicht einen Klimaschutzexperten braucht, sondern bestenfalls so viele, wie sie Einwohner hat. Er beschließt deshalb, seine Mitbürger zu Multiplikatoren im kommunalen Klimaschutz auszubilden. Gibt es zu diesem Thema nicht jemanden, der sich auskennt?



Armin Bobsien

2016

EINE IDEE REIFT ZUM PLAN

Bei seinen Recherchen nach Fortbildungsangeboten stößt Armin Bobsien auf eine Online-Vorlesung zum Klimawandel und seinen Folgen. Sie stammt vom World Wide Fund For Nature (WWF) Deutschland und dem Deutschen Klimakonsortium (DKK) und ist vom Ansatz her vielversprechend. Die Inhalte aber drehen sich vor allem um das globale Klima und geben wenig Auskunft über die Veränderungen im Südwesten Baden-Württembergs, um die es Armin Bobsien in erster Linie geht. Deshalb kontaktiert er den WWF Deutschland.

2016 AUS DEM PLAN WIRD EIN KURSKONZEPT



2016

DIE GENERALPROBE IN EMMENDINGEN

Der erste Probedurchlauf des neuen Kursformates findet an der VHS Emmendingen statt. Fünf Abende, 20 Teilnehmende und eine Vielzahl an Wissenschaftlern. Das moderne Kurskonzept kommt an und bringt die Hälfte der Teilnehmenden auf die Idee, sich regelmäßig zum #klimafit-Stammtisch zu treffen. Es gilt, den Klimaschutz in Emmendingen mit eigenen Aktionen voranzutreiben: Zur WWF Earth Hour 2017 wird erstmals auch die Beleuchtung am Emmendinger Tor ausgeschaltet, dem Wahrzeichen der Stadt. Und das ist nur der Anfang...

MÄRZ 2017

EIN FÖRDERER STEIGT EIN

Die positiven Rückmeldungen aus Emmendingen ermutigen den WWF und REKLIM, den nächsten Schritt zu gehen. Gemeinsam stellen sie einen Förderantrag bei der Robert Bosch Stiftung, um die Projektidee in andere Orte weiterzutragen.

Die Zielgruppen:

Zum einen Menschen, die mithelfen möchten, ihre Städte und Gemeinden klimafreundlich auszurichten. Dazu zählen Architekten, Energieberater, Grünflächenplaner, Handwerker, Heizungsbauer und ehrenamtliche Gemeinde- oder Stadträte. Zum anderen richtet sich der Kurs auch an Berufsgruppen, die von den regionalen Folgen des Klimawandels besonders betroffen sind, zum Beispiel Land- und Forstwirte. Eingeladen sind aber auch all jene Bürger, die einfach mehr zum Thema regionaler Klimawandel erfahren wollen.

Das Konzept:

Die #klimafit-Kursabende verknüpfen Expertenvorträge, Gruppendiskussionen und digitales Lernen, sodass die Kursteilnehmenden mit den besten Fachleuten für den Klimawandel auf globaler wie regionaler und lokaler Ebene ins Gespräch kommen. Ein Moderator, der mit der Region vertraut ist, führt durch die Lerninhalte. Die Klimaschutzbeauftragten der Kommunen informieren über die kommunalen Herausforderungen. Am Ende, so die Hoffnung, verstehen sich die Teilnehmenden als Multiplikatoren für mehr Klimaschutz in ihrer Kommune und wissen, wie sich der globale Klimawandel bei ihnen vor der Haustür auswirkt und was sie tun können, um dessen Folgen zu begegnen.

2016

AUS DEM PLAN WIRD EIN KURSKONZEPT

Die Anfrage aus Emmendingen trifft beim WWF auf offene Ohren. Gemeinsam mit Armin Bobsien konzipieren die Bildungsexperten einen ersten Test-Klimakurs für Berufstätige. Dieser soll abends an der lokalen Volkshochschule (VHS) stattfinden, Klimawissen kompakt und informativ präsentieren, die Teilnehmenden miteinander ins Gespräch bringen, ein Forum für Ideen bieten und die regionalen Folgen des Klimawandels in den Mittelpunkt rücken. Nur wer kennt sich mit dem Klimawandel in Deutschland wirklich gut aus? Wer könnte die notwendigen Inhalte liefern? REKLIM natürlich. Gesagt, besprochen, ran an die Arbeit!



SEPTEMBER 2017

STARTSCHUSS AN SECHS STANDORTEN

Im September 2017 geht #klimafit an sechs Standorten in Südwestdeutschland an den Start. Beteiligt sind die Volkshochschulen in Bad Säckingen, Emmendingen, Bühl, Offenburg, Heidelberg und Stuttgart. Die insgesamt 115 Teilnehmenden stellen den Organisatoren am Ende ein gutes Zeugnis aus. Die Evaluierung zeigt: 95 Prozent der Teilnehmenden würden den Kurs weiterempfehlen. Für 71 Prozent haben sich die persönlichen Erwartungen in Bezug auf den Wissenszuwachs zum Thema Klimawandel voll und ganz erfüllt. Und 91 Prozent der Teilnehmenden geben an, vor allem zur Frage der regionalen Veränderungen im Zuge des Klimawandels viel Neues erfahren zu haben.



95%

JUNI 2018 FEINSCHLIFF FÜRS KONZEPT: WAS BRAUCHEN DIE KOMMUNEN WIRKLICH?

JUNI 2018

FEINSCHLIFF FÜRS KONZEPT: WAS BRAUCHEN DIE KOMMUNEN WIRKLICH?

Gut geht trotzdem besser: Deshalb laden die #klimafit-Organisatoren am 5. Juni 2018 Akteure aus den Bereichen Klimaschutz und Klimaanpassung sowie Vertreter aus Bund, Ländern und Städten zu einem Workshop nach Hamburg. Sie diskutieren gemeinsam, wie der Kurs noch besser auf die Bedürfnisse der Menschen und Gemeinden eingehen kann. Eine Idee von vielen: Sich einmischen und mitgestalten. Aber wie geht das?

OKTOBER 2018

EIN ZWEITER FÖRDERER STEIGT EIN

Die Klaus Tschira Stiftung ist von dem Konzept, dem regionalen Bezug und dem Dialog von Wissenschaftlern und Bürgern begeistert und steigt als Förderer bei #klimafit mit ein.

JANUAR 2019

NORDISCH BY NATURE

Die Volkshochschulen aus sieben norddeutschen Städten nehmen #klimafit in ihr Programm auf. Vertreten sind Hamburg, Bremerhaven, Bremen, Emden, Eckernförde, Rostock und Greifswald. Die Lerninhalte werden abermals auf die Region zugeschnitten. Statt manchem theoretischen Inhalt werden nun den Gedanken des Vernetzens und Handelns ein sehr viel größerer Raum gegeben. In der Region Südwestdeutschland läuft derweil die Fortbildungsreihe schon in der zweiten Runde weiter, zu großen Teilen über die Kommunen finanziert, sodass im Frühjahr 2019 insgesamt 274 Männer und Frauen an dem Kurs teilnehmen. Auch sie werden in einer Evaluation nach ihren Lernerfolgen und Meinungen befragt.

MAI 2019

AB IN DIE MITTE

Die Erfahrungen aus der zweiten Projektphase in Süd- und Norddeutschland fließen nun in die Kurskonzeption für die Region Mitteldeutschland ein. Im Frühjahr 2020 soll der Kurs auch in Hannover, Leipzig, Berlin und München an den Start gehen. Regionale Themenschwerpunkte sind diesmal u. a. Trockenheit und Überschwemmungen. Im Anschluss daran verfolgen die Organisatoren das ehrgeizige Ziel, den Kurs bundesweit anzubieten und noch mehr Kommunen „klimafit“ zu machen.

WIE FUNKTIONIERT DER VHS-KURS #KLIMAFIT



#klimafit ist ein neues Kursformat an Volkshochschulen zur Ausbildung von Bürgern zu Klimamultiplikatoren innerhalb von Kommunen. Der VHS-Kurs macht die Teilnehmenden mit den wissenschaftlichen Grundlagen zum Thema Klima und Klimawandel vertraut, vermittelt ihnen die nötige Handlungskompetenz und stellt regionale Veränderungen in den Mittelpunkt. Das Kursformat besteht aus Präsenz- und Online-Terminen und ermöglicht den Kontakt zu Wissenschaftlern aus der Klimaforschung und lokalen Klimaschutz-Initiativen. Begleitet wird #klimafit von den kommunalen Klimaschutzbeauftragten.

TEAMARBEIT BUNDESWEIT

FOLGENDE PARTNER VERHELFFEN #KLIMAFIT ZUM ERFOLG

Unsere Förderer:

Die Stiftungen

#klimafit kann wachsen, weil die Robert Bosch Stiftung und die Klaus Tschira Stiftung das Bildungsprojekt fördern. Beiden Förderern ist der Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft ein Herzensanliegen. Denn Wissen allein setzt noch keine gesellschaftlichen Veränderungen in Gang. Es braucht Menschen, die sich vernetzen und gemeinsam den Wandel anstoßen. Genau diesen Gedanken lebt #klimafit.



Robert Bosch Stiftung

Klaus Tschira Stiftung
gemeinnützige GmbH



Unser Anker vor Ort:

Die Volkshochschulen

Volkshochschulen gibt es nahezu in jedem Ort. Sie sind als neutraler Ort der Erwachsenenbildung bekannt und die Berührungsängste in der Bevölkerung sind gering. Beides macht die VHS zu einem idealen Partner. Darüber hinaus vollziehen die Volkshochschulen derzeit einen großen Schritt Richtung Digitalisierung. #klimafit und seine digitalen Lernformate kommen da zum richtigen Zeitpunkt.



Unsere Bildungsexperten

für den Umweltschutz:

Der WWF Deutschland

Der Fachbereich WWF-Bildung hat sich auf die Entwicklung von Weiterbildungsangeboten spezialisiert, welche digitale Wissensvermittlung mit dem gemeinsamen Lernen in der Gruppe verknüpfen. Das Motto lautet: Mit Spaß lernen und auf Basis dieses Wissens die Zukunft selbst in die Hand nehmen.



Unsere Klimaforscher:

REKLIM - Helmholtz-Verbund für Regionale Klimaänderungen

Im REKLIM-Verbund erforschen neun Helmholtz-Forschungszentren seit zehn Jahren gemeinsam die regionalen Auswirkungen des Klimawandels. Ihre Expertise und neuen Ergebnisse bringen die Forschenden z. B. als Vortragende in den Kurs mit ein oder verarbeiten diese in den Lehrmaterialien.



Seid bereit!

TEXT: TIM SCHRÖDER

Mit dem Klimawandel könnte es in Deutschland künftig immer öfter plötzliche Hochwasser aufgrund starker Regenfälle geben. So erlebte etwa die Stadt Grimma in Sachsen in nur elf Jahren gleich zweimal eine Überschwemmung. In der Folge wurde der Hochwasserschutz in Sachsen massiv ausgebaut - dabei halfen Risikoanalysen und sozialwissenschaftliche Studien von Experten aus dem REKLIM-Verbund.

Das zweite Jahrhundert-Hochwasser innerhalb kurzer Zeit: Nur elf Jahre nach der Überflutung von 2002 steht die Altstadt Grimmas im Juni 2013 wieder unter Wasser.

Grimma hat es gleich zweimal erwischt: das erste Mal im August 2002 und dann wieder im Juni 2013. In beiden Jahren hatte es im Sommer heftig geregnet, wodurch die ansonsten so beschaulich dahinfließende Mulde über die Ufer trat. Die Mulde, ein Flüsschen im Norden Sachsens, flutete die Altstadt Grimmas. Keller und Erdgeschoss liefen voll. Allein beim ersten Hochwasser entstanden Schäden in Höhe von 250 Millionen Euro. Niemand hatte damit gerechnet, dass so etwas in nur elf Jahren gleich zweimal passieren könnte. Denn beide Fluten waren sogenannte Jahrhundert-Hochwasser, die rein statistisch eben nur einmal in 100 Jahren auftreten sollten. Doch in diesem Fall folgten sie schnell aufeinander.

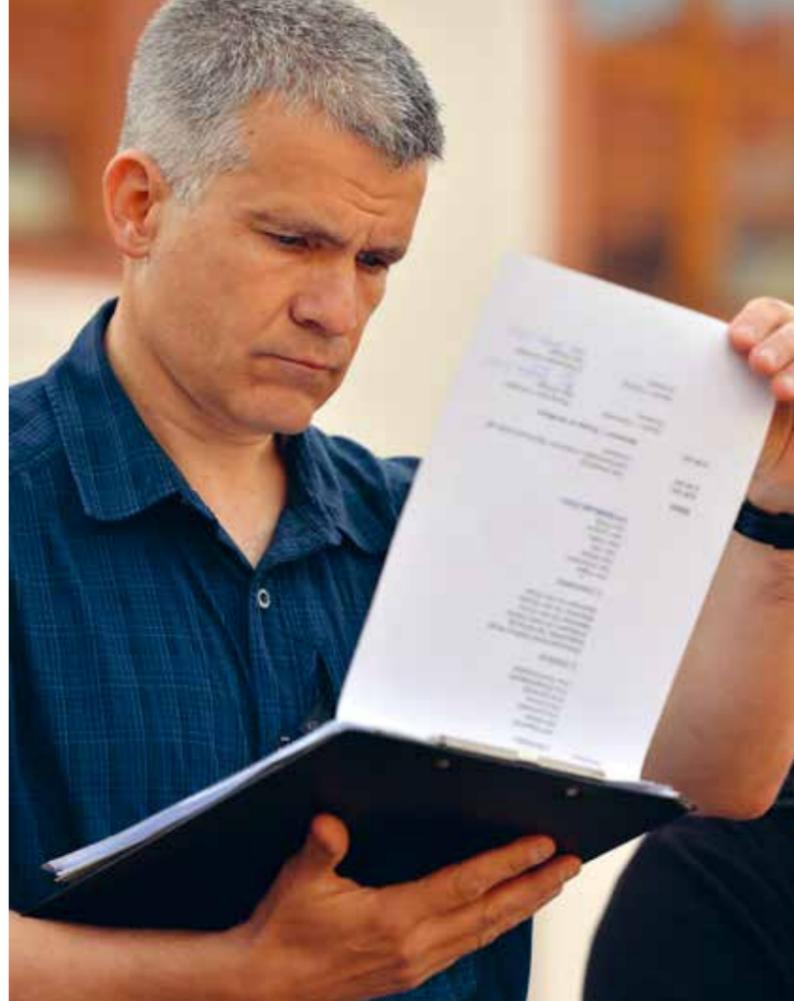
Ein solcher doppelter Schicksalsschlag trifft die Menschen besonders hart. Prof. Reimund Schwarze vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig fragte sich, was so etwas mit den Menschen macht, wie es den Zusammenhalt, die Solidarität in einer Gemeinde verändert. Und noch etwas wollte er herausfinden: Wie kann sich eine Stadt wie Grimma künftig vor solchen Überflutungen schützen? Für viele Regionen in Deutschland und Europa ist das eine Schicksalsfrage, denn viele Experten warnen inzwischen davor, dass Starkregen künftig häufiger auftreten werden. Und dadurch steigt die Gefahr schwerer Überschwemmungen.

Ein idealer Forschungsrahmen

Reimund Schwarze entschied sich, Grimma in doppelter Hinsicht zu einem Forschungsschwerpunkt zu machen – zum einen im Hinblick auf die Menschen, zum anderen mit einem Fokus auf den Hochwasserschutz. Gemeinsam mit Kollegen vom UFZ interviewte er die Bewohner der Stadt. Die Forscher fragten die Bürger, ob und wie sie sich nach 2002 besser vor einem neuen Hochwasser geschützt hätten. Außerdem werteten die Wissenschaftler statistische Daten aus – etwa die Zahl der Zuzüge und die Zahl jener Bewohner, die die Altstadt nach dem Hochwasser verließen. „Ganz klar, ein solches Doppelereignis macht eine Stadt zu einem einzigartigen Experimentierfeld. Wir haben versucht, daraus wichtige Schlüsse für die

Zukunft zu ziehen“, sagt Reimund Schwarze. Eine Erkenntnis: Beim zweiten Mal ziehen sich Menschen eher in ihrer Verzweiflung zurück. Die Belastung durch eine zweite Katastrophe ist enorm, sowohl psychologisch als auch ökonomisch, fanden die Forscher heraus. So wurden nach der Flut von 2013 weniger staatliche Hilfsmittel bereitgestellt. Dennoch zeigt sich, dass eine solche Erfahrung die Gemeinschaft stärken kann. Solidarität funktioniert vor allem dann, wenn sich die Menschen einer Gemeinde kennen und die Gemeinschaft nicht durch eine Vielzahl an Zu- und Wegzügen geschwächt werde. In Grimma blieben die meisten – auch nach dem Hochwasser von 2013. Wenn Menschen aus der Altstadt weggezogen, dann meist jene, die hier nur für relativ kurze Zeit gewohnt

hatten. Die Alteingesessenen hielten durch. Doch wie schafft man Solidarität? Wie kann es gelingen, dass Menschen bei aller persönlichen Betroffenheit an die Gemeinschaft denken? Heute und vor allem auch, wenn Hochwasser häufiger auftreten sollten. Die Antwort von Reimund Schwarze ist verblüffend einfach: „Solidarität lässt sich üben: weniger in der Katastrophe, sondern vielmehr in der Katastrophenvorsorge. Wer gemeinsam Katastrophenschutz übt, denkt solidarischer.“ Die Frage, ob man sich an möglicherweise häufiger auftretende Wetterextreme gewöhnen könne, beantwortet Reimund Schwarze denn auch mit einem klaren Ja: „Das Leben mit wachsenden Gefahren besteht letztlich darin, dass man sich vorbereitet, solidarisch den Katastrophenfall immer wieder



Grimmas Oberbürgermeister Matthias Berger beteiligt sich im April 2015 an einer Übung für den Hochwasser-Ernstfall, an der rund 100 Feuerwehrkräfte der Stadt teilnehmen.



Bei diesem Einsatztraining schließen die Grimmaer Rettungskräfte auch eines der neuen Fluttore, welche die Stadt künftig vor schweren Überschwemmungen schützen sollen.

übt und damit den schweren Folgen eines Ernstfalls vorbeugt“, sagt Schwarze, der auch im wissenschaftlichen Beirat und im Vorstand des Deutschen Komitees für Katastrophenvorsorge aktiv ist. Sinnvoll sei zum Beispiel auch, dass heute noch in manchen Gemeinden am Samstagmittag die Sirenen heulen. Der Warnton rufe den Menschen die Gefahr immer wieder ins Bewusstsein. Das Signal aus Kostengründen abzuschaffen, wie in den meisten Städten in Deutschland seit 1993 geschehen, könne er nicht nachvollziehen.

Hochwasserschutz, zu dem alle stehen

Auch Matthias Berger, Bürgermeister von Grimma, hat Solidarität erlebt. 2002 hatte

eingepasst.“ Matthias Berger zieht seinen Hut vor den Bürgern, sagt er. „Als 2013 das zweite Hochwasser kam, wussten wir ja alle schon, was uns blühte. Zum Teil waren die Schadensfälle von 2002 noch gar nicht ganz abgewickelt. Dass die Leute trotzdem nicht aufgegeben haben, ist enorm.“

Die Flutmauer ist für Grimma inzwischen zu einem Marketing-Schlager geworden. Häufig reisen Expertengruppen aus dem In- und Ausland an, um von diesem Beispiel zu lernen. Dabei wird Matthias Berger nicht müde zu betonen, dass zu einem ganzheitlichen und an den Klimawandel angepassten Hochwasserschutz mehr gehöre als Fluttore. Vielerorts sei die Landschaft versiegelt, Bäche und Flüsse begradigt. Ein Wassertropfen, der im Erzgebirge falle, hätte früher drei Tage gebraucht, bis er in Grimma angekommen sei. Heute rausche der Regen in wenigen Stunden zu Tal. „Was die Renaturierung von Flüssen, die Schaffung von Überschwemmungsflächen angeht, ist noch viel zu tun“, sagt Matthias Berger.

Das Risiko richtig einschätzen

Andererseits hat man in Sachsen in Sachen Hochwasserschutz seit 2002 bereits viel getan. Dazu haben auch Forscher des UFZ beigetragen. Seit Anfang der 2000er Jahre sind die Behörden in der Europäischen Union verpflichtet, Risikokarten zu erstellen und damit gefährdete Gebiete zu identifizieren. Dabei wird berücksichtigt, ob Gebäude in gefährdeten Bereichen stehen, welche ökonomischen Werte dort angesammelt sind oder ob wichtige Infrastrukturen wie die Strom- und Trinkwasserversorgung betroffen sein könnten.

Als Umweltökonom war Reimund Schwarze am Entwurf von Risikokarten für den Lockwitzbach nahe Dresden beteiligt, die dort auch heute noch als Grundlage für die Hochwasserbekämpfung dienen. „Diese Risikokarten haben uns ganz klar vorangebracht“, sagt Dr. Uwe Müller, Experte für Hochwasserschutz am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Die Behörden hätten damit erstmals genau erfassen können, wo Werte akkumuliert und welche Gebiete besonders betroffen seien.

Eine Analyse nach dem Hochwasser von 2002 hatte ergeben, dass damals bei einem schweren Hochwasser in ganz Sachsen Schäden in Höhe von 7,2 Milliarden Euro zu erwarten gewesen wären. Dank der Risikoanalyse konnten die Behörden in den folgenden Jahren gezielt jene Gebiete schützen, für die besonders hohe Schäden zu erwarten waren. Mit Erfolg, sagt Uwe Müller: „Als 2013 dann tatsächlich ganz Sachsen betroffen war, beliefen sich die Schäden am Ende nicht auf 7,2 Milliarden, sondern nur noch auf etwa zwei Milliarden Euro.“

Weit mehr als eine Wasserstandsmeldung

Uwe Müller und seine Kollegen haben den Hochwasserschutz in Sachsen gleich auf mehreren Ebenen ausgebaut, zum einen durch Baumaßnahmen wie in Grimma, vor allem aber auch im Hinblick auf die Hochwasserwarnung. „2002 waren dafür in den verschiedenen Regionen Sachsens vier Behörden zuständig“, sagt Uwe Müller, „entsprechend verwirrend und teils falsch waren die Warnungen und die Wasserstandsmeldungen, die über die Medien rausgegangen sind.“ Seit 2004 gibt es mit dem Landeshochwasserzentrum eine zentrale Stelle, die Warnungen ausgibt. Und auch die profitorientierten Erkenntnisse von Forschern wie Reimund Schwarze. „Wir geben nicht nur einfache Wasserstandsvorhersagen aus, wenn der Regen da ist, sondern für jede Region eine detaillierte Frühwarnung, noch ehe überhaupt ein Tropfen gefallen ist“, sagt Müller mit einem gewissen Stolz. Möglich machen das Rechenmodelle, die zum einen mit meteorologischen Daten vom Deutschen Wetterdienst gefüttert werden, zum anderen

aber noch wichtige zusätzliche Parameter erhalten – etwa zur Bodenfeuchte, denn davon hängt ab, wie viel Regen der Boden noch speichern kann. Im Ergebnis können Bürger auf der Internetseite des Hochwasserzentrums für ihre Heimatregionen in Ampelfarben die Hochwassergefahr und die zu erwartenden Pegelstände ablesen.

Drei Strategien: weichen, widerstehen oder anpassen

Natürlich hat eine solche Frühwarnung nur dann einen Sinn, wenn die Bürger auch wissen, was zu tun ist. „Hier haben Forscher wie Reimund Schwarze gute Vorarbeit geleistet, indem sie mit ihrer Arbeit vor Ort dazu beigetragen haben, dass die Menschen ein Risikoverständnis entwickeln“, sagt Uwe Müller. „Darauf bauen wir heute in vielen Projekten auf. Die Menschen sind offen für das Thema und machen mit, wenn es darum geht, Güter zu schützen.“ Dabei gebe es drei Strategien: erstens dem Hochwasser auszuweichen, etwa indem man auf das Bauen in gefährdeten Gebieten verzichtet, zweitens Schutzanlagen zu bauen wie in Grimma, und drittens, sich anzupassen. Im letzteren Fall arbeitet das Landesamt derzeit eng mit Ingenieuren zusammen, die neue Baustoffe

entwickeln, die Wasser besser vertragen. Eine pragmatische Lösung sei es auch, in Geschäften die Wände zu fliesen, sagt Uwe Müller. Nach einem Hochwasser ließe sich der Schlamm dann einfach wieder abspritzen. Uwe Müller und Reimund Schwarze sind sich darin einig, dass sich die mit dem Klimawandel zunehmende Gefahr von Hochwasser nur bannen lässt, wenn alle an einem Strang ziehen, die Bürger, die Behörden, die Rettungsdienste. Vor einigen Jahren etablierte der Wissenschaftler in Österreich zusammen mit Kollegen von der Universität Innsbruck einen solchen Prozess, in dem Gemeinden mithilfe von Risikoanalysen lernen, welche Naturgefahren der Bevölkerung drohen und wie sie sich davor schützen können. Heute werden diese Risikoanalysen mit Workshops verknüpft, welche die Firma alpS, eine private Ausgründung der Universität Innsbruck, durchführt. Mehr als 300 Nord- und Südtiroler Gemeinden haben sich damit bereits auf den Klimawandel vorbereitet – nicht nur auf Hochwasser, sondern auch auf Lawinen oder zunehmende Hitze und Trockenperioden. Für Reimund Schwarze ist das eine runde Sache und „vielleicht europaweit die beste Art, wie sich Gemeinden gegen die Klimagefahren der Zukunft wappnen können.“

VORAUSSGEDACHT

„Ich wünsche mir für Deutschland und für die wirtschaftlich schwächeren Regionen der EU, dass künftig Gefahren- und Risikokarten flächendeckend benutzt werden. Pläne zum Schutz der Städte und Gemeinden in den Risikogebieten müssen gemeinsam mit deren Bewohnern erarbeitet werden, um die Auswirkungen des Klimawandels eindämmen zu können.“

REIMUND SCHWARZE
Umweltökonom am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

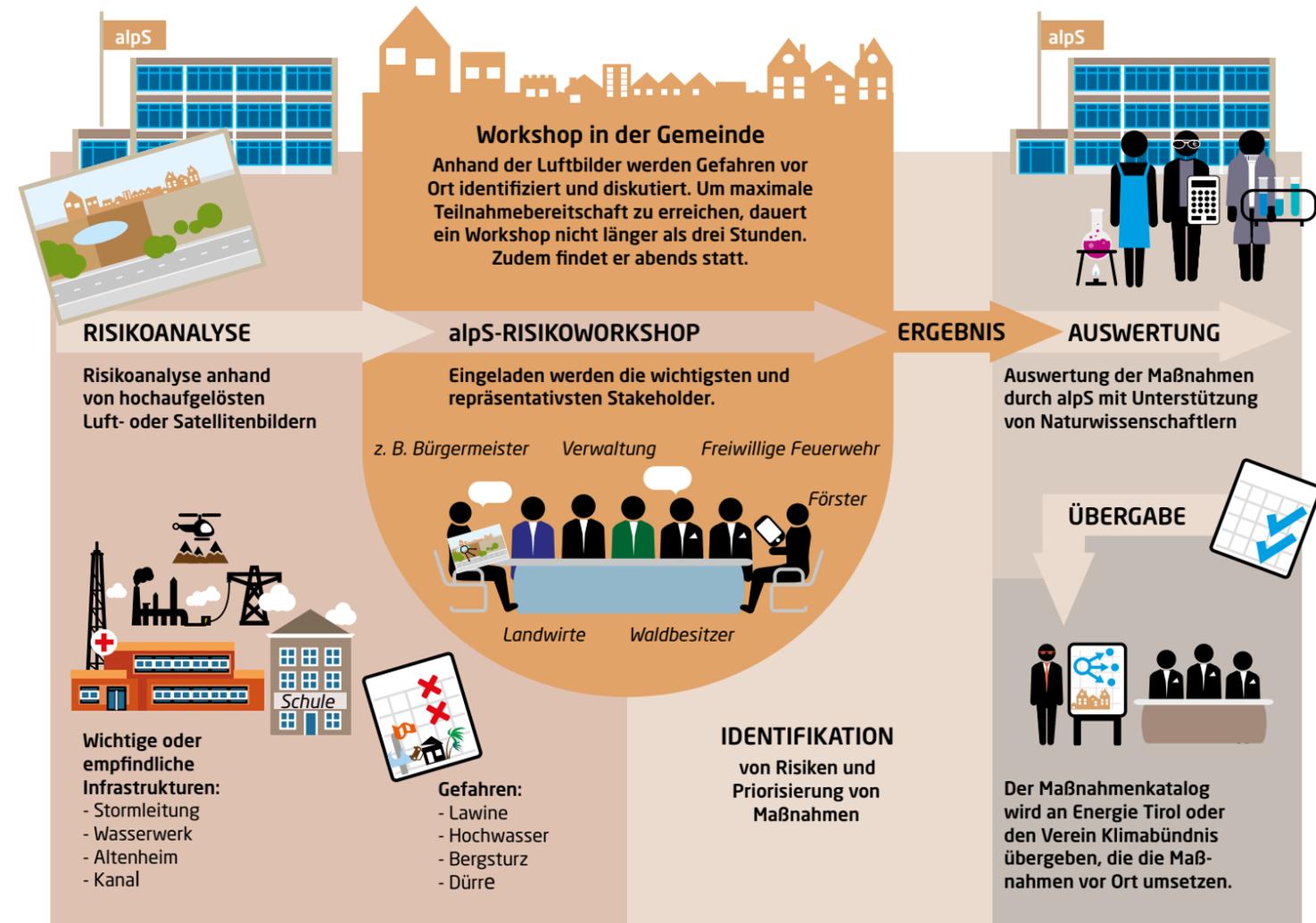
KOMPAKT

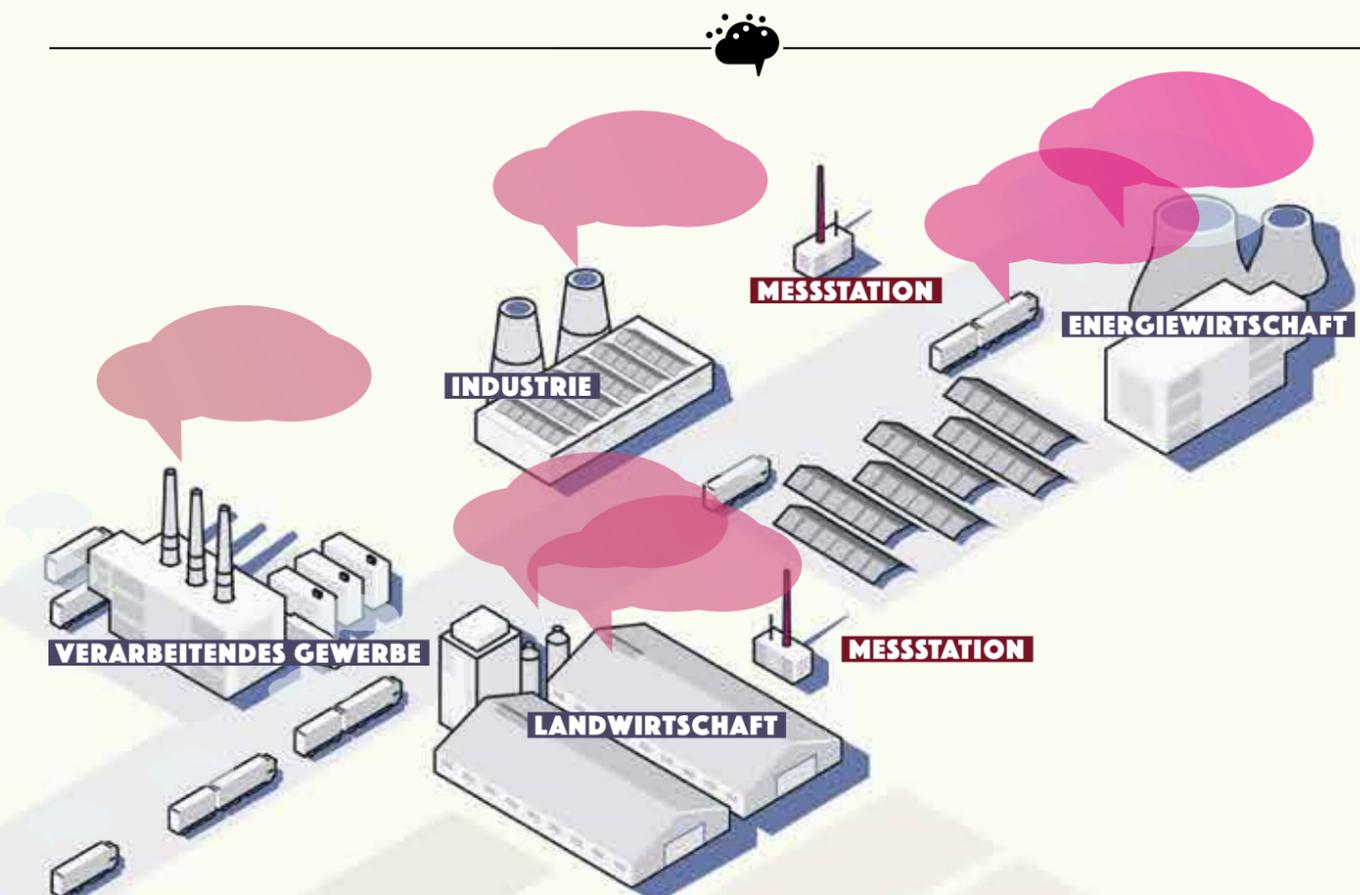
- Schäden lassen sich verringern, wenn dem Hochwasserschutz eine umfassende Risikoanalyse vorausgeht. In dieser wird untersucht, wie stark kritische Infrastrukturen oder historisch wertvolle Güter gefährdet sind. Erst dann sollten gezielte Schutzmaßnahmen folgen.
- Die Solidarität zwischen den Menschen ist besonders wichtig, damit eine Gemeinde ein Hochwasser überstehen kann. Eine solche Solidarität lässt sich lernen – unter anderem durch regelmäßige Notfallübungen.
- Die Hochwasserschäden lassen sich durch ein Bündel an Maßnahmen verringern. Dazu zählt eine computerunterstützte Frühwarnung, eine Anpassung der Gebäude und auch die Aufklärung der Bevölkerung über die Hochwassergefahr und den Selbstschutz.

PRAXISBEZUG

GUT GEWAPPNET

Extremereignisse wie Starkregen oder Hochwasser müssen nicht zwangsläufig zu Naturkatastrophen führen. Diese lassen sich durch eine detaillierte Risikoanalyse und durch gezielte Vorsorgemaßnahmen vermeiden. Das Beispiel der österreichischen Planungsfirma alpS zeigt, wie ein solcher Prozess idealerweise abläuft.

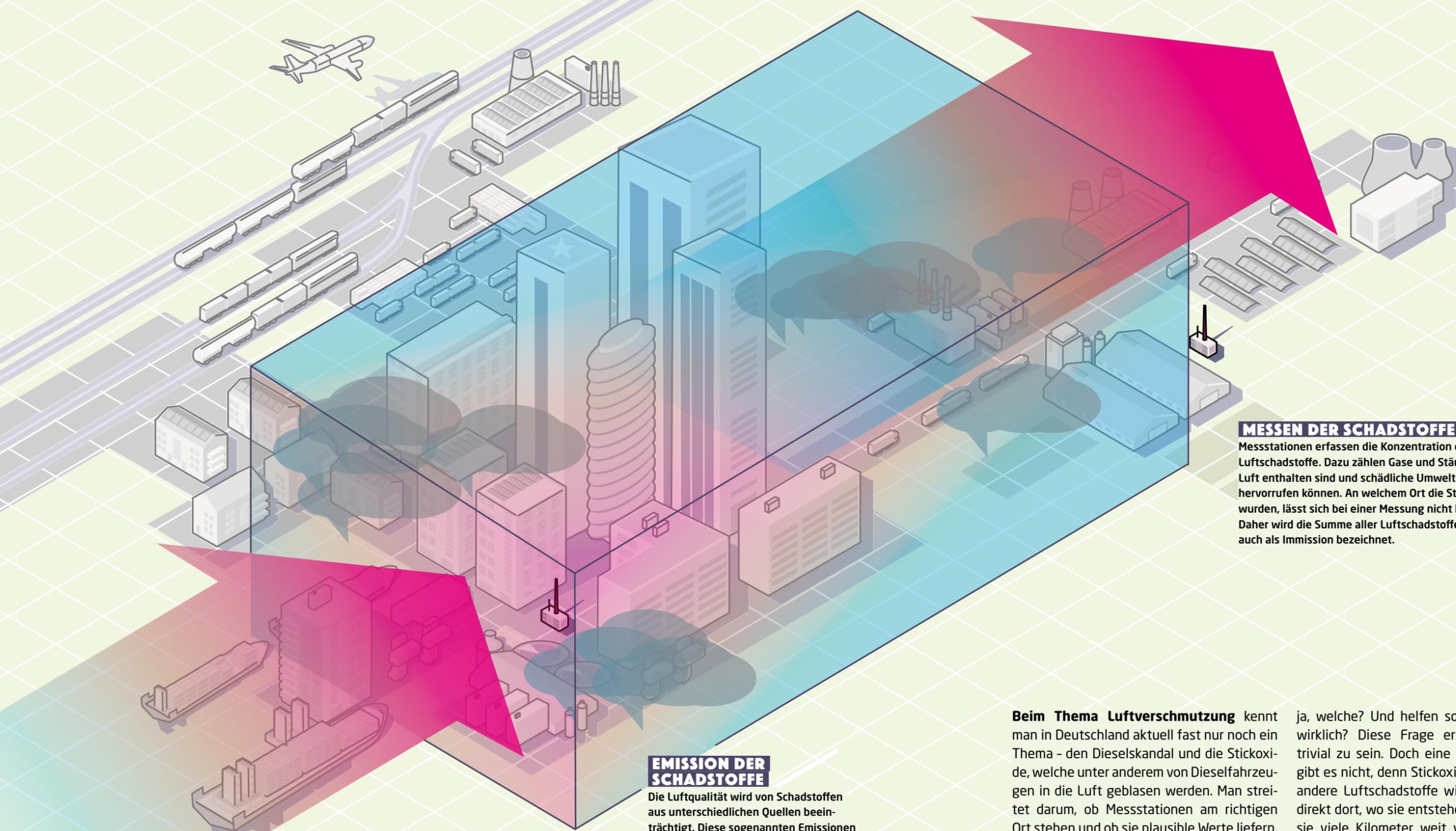




DIE REISE DER SCHADSTOFFE

TEXT: TIM SCHRÖDER

Stickoxide und andere Schadstoffe, die durch den Verkehr oder Kraftwerke in die Luft geblasen werden, machen krank und haben einen großen Einfluß auf unser Klima. Deshalb wird bundesweit versucht, ihre Gesamtmenge genauer zu bestimmen. Doch diese Schätzungen sind schwierig. Mit einem aufwändigen Computermodell helfen Experten vom Forschungszentrum Jülich den Behörden, die Schadstoffbelastung besser erfassen zu können.



TRANSPORT DER SCHADSTOFFE

Luftschadstoffe werden in der Atmosphäre verdünnt, umgewandelt und oft auch in andere Gebiete abtransportiert. Das endet erst, wenn die Stoffe vom Regen herausgewaschen werden, sich ablagern oder aber chemisch abgebaut werden. Der Wind verteilt die Schadstoffe oft weiträumig, sodass die Emissionen einer Stadt durchaus die Luftqualität in den Nachbargemeinden belasten.

EMISSION DER SCHADSTOFFE

Die Luftqualität wird von Schadstoffen aus unterschiedlichen Quellen beeinträchtigt. Diese sogenannten Emissionen entstehen zum Beispiel im Verkehr, bei der Energiegewinnung, in der industriellen Produktion, in der Landwirtschaft sowie bei vielen anderen Aktivitäten. Dabei findet jeweils ein Stofffluss von der Quelle in die Atmosphäre statt.

MESSEN DER SCHADSTOFFE

Messstationen erfassen die Konzentration der wichtigsten Luftschadstoffe. Dazu zählen Gase und Stäube, die in der Luft enthalten sind und schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen können. An welchem Ort die Stoffe freigesetzt wurden, lässt sich bei einer Messung nicht bestimmen. Daher wird die Summe aller Luftschadstoffe an einem Ort auch als Immission bezeichnet.

SCHADSTOFFE

Beim Thema Luftverschmutzung kennt man in Deutschland aktuell fast nur noch ein Thema - den Dieselskandal und die Stickoxide, welche unter anderem von Dieselfahrzeugen in die Luft geblasen werden. Man streitet darum, ob Messstationen am richtigen Ort stehen und ob sie plausible Werte liefern. Letztlich geht es jedoch um die Frage, was man tun kann, um die Luft in den Städten sauberer zu machen. Denn Luftschadstoffe und Feinstäube können nicht nur krank machen. Sie beeinflussen auch das Klima, insbesondere Aerosole, weil sie abhängig von ihren optischen Eigenschaften die Lufttemperatur deutlich beeinflussen können. Natürlich wäre die Luftverschmutzung geringer, wenn weniger Autos unterwegs wären. Doch soll man dafür Straßen sperren und falls

ja, welche? Und helfen solche Maßnahmen wirklich? Diese Frage erscheint zunächst trivial zu sein. Doch eine einfache Antwort gibt es nicht, denn Stickoxide und auch viele andere Luftschadstoffe wirken nicht immer direkt dort, wo sie entstehen. Der Wind kann sie viele Kilometer weit verfrachten. Während ihrer Reise können sie sich chemisch verändern und neue Verbindungen eingehen, die ihrerseits problematisch sind. Im dicht besiedelten Ruhrgebiet kann beispielsweise die Abluftfahne einer Stadt die Stickoxid-Werte in der Nachbargemeinde in die Höhe treiben. Und wenn in strengen Wintern der Wind aus Ost weht, steigen in manchen Teilen Deutschlands die Stickoxidwerte oder die Feinstaubkonzentrationen, weil in Osteuropa viele Haushalte noch mit

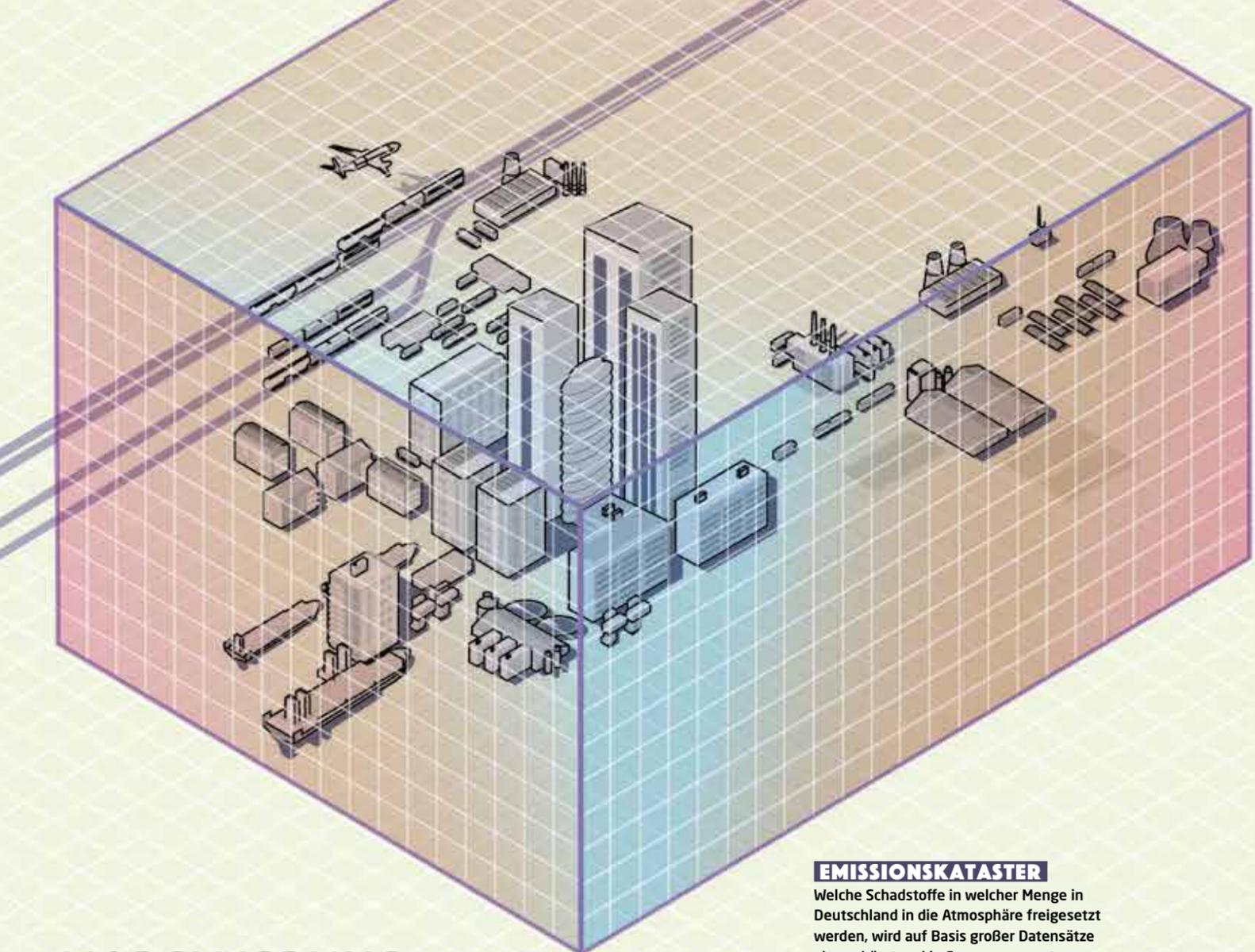
Kohle heizen. Wer also an einem Standort erhöhte Schadstoffwerte misst, muss zunächst einmal feststellen, woher die Schadstoffe stammen, ehe er gezielte Maßnahmen zur Luftreinhaltung ergreifen kann.

Mühevoller Datensammlung

Ein Problem ist, dass nur wenige emittierte Schadstoffe direkt gemessen werden. Messstationen gibt es vor allem in Großstädten und Ballungszentren - und selbst dort nur an wenigen ausgewählten Punkten. Insofern weiß eigentlich niemand genau, wie schmutzig die Luft in ganz Deutschland tatsächlich ist und inwieweit die Schadstoffe das Klima vor Ort beeinflussen. Die Behörden sind daher auf Abschätzungen angewiesen. In mühevoller Detailarbeit tragen sie Daten über alle denkbaren Schadstoffquellen zusammen: die Zahl der registrierten Autos und die Leistung ihrer Motoren; die Menge an Fahrzeugen, die über bestimmte Autobahnabschnitte rollen; die Zahl der Haushalte, die mit Gas, Öl oder Strom heizen; den Schadstoffausstoß einzelner Industriebetriebe oder die Zahl der Kraftwerke und ihrer Betriebsstunden. Alle Daten werden zusammengefasst, um daraus den jährlichen Schadstoffausstoß, die Emissionen, für einzelne Städte, Landkreise, Bundesländer oder ganz Deutschland zu berechnen. Veröffentlicht werden die geschätzten Mengen von den Landesumweltämtern in Form von Tabellen und Landkarten, den sogenannten „Emissionskatastern“. Mithilfe dieser Kataster wird dann abgeschätzt, wie hoch die Schadstoffbelastung der Luft in verschiedenen Regionen ist; und was man dagegen tun kann.

Manchmal knapp daneben

Doch obwohl diese professionellen Schätzungen auf einer Fülle von Daten beruhen, stimmen sie nicht immer mit der Realität überein. Regelmäßig liefern Messstationen andere Schadstoffwerte, als die Emissionskataster erwarten lassen. „Das bedeutet, dass bestimmte Daten oder Annahmen, die den Schätzungen zugrunde liegen, nicht der Realität entsprechen“, sagt Dr. Hendrik Elbern vom Forschungszentrum Jülich (FZJ). Der Meteorologe ist Spezialist für numerische



MODELLIERUNG

Modellierung und hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Inkonsistenzen und ihre Ursachen im System zu finden, damit die Behörden die tatsächliche Schadstoffbelastung der Luft künftig besser abschätzen können. Dafür hat Hendrik Elbern gemeinsam mit der Doktorandin Annika Vogel und seinen Mitarbeitern Dr. Anne Caroline Lange und Dr. Philipp Franke vom Rheinischen Institut für Umweltforschung der Universität Köln und dem Institut für Energie- und Klimafor-

schung am FZJ ein komplexes Computermodell entwickelt. Es ist darauf spezialisiert, an das Problem von einer anderen Seite heranzugehen: Es verwendet die an den Stationen gemessenen Werte, vergleicht diese mit den Ursprungsdaten des Katasters und sucht nach möglichen Fehlerquellen und Abweichungen. Es variiert Modellparameter, insbesondere die dem Kataster zugrunde liegenden Daten so, dass das Kataster am Ende die tatsächlichen Messwerte gut repräsentiert. Aus den Geowissenschaften war ein solcher Ansatz bereits bekannt, aber für die Luftchemie wurde eine solche Modellierung früher für undurchführbar gehalten. Der

EMISSIONSKATASTER

Welche Schadstoffe in welcher Menge in Deutschland in die Atmosphäre freigesetzt werden, wird auf Basis großer Datensätze abgeschätzt und in Form sogenannter Emissionskataster veröffentlicht.

Grund: Es müssen mehr als 100 verschiedene chemische Verbindungen und Feinstaubtypen berücksichtigt werden. Dennoch begann Hendrik Elbern mit der Entwicklung seines Modellierungswerkzeugs, das den Namen EURAD-IM trägt: ein mächtiges Tool, das voller Wissen steckt.

Komplexe Chemie berücksichtigen

Ein zentrales Element von EURAD-IM ist das sogenannte Chemietransport-Modell, ein Softwarebaustein, der das Wissen über all

FEHLERSUCHE MIT DEM MODELL

Ein Computermodell vergleicht die an den Messstationen erfassten Immissionswerte mit den Ursprungsdaten des Emissionskatasters und bestimmt systematische Abweichungen. Dabei variiert es die dem Kataster zugrundeliegenden Daten derart, dass Fehler erkannt und korrigiert werden und das überarbeitete Kataster am Ende die tatsächlichen Messwerte gut repräsentiert.

jene chemischen Reaktionen enthält, die rund um die Schadstoffe in der Atmosphäre ablaufen können. „Es gibt Hunderte verschiedener Reaktionen, die dazu führen, dass sich Luftschadstoffe verändern oder neu bilden“, sagt Hendrik Elbern. Wie komplex dieses Zusammenspiel ist, zeigt das Beispiel der chemischen Reaktionen, die zwischen Stickoxiden und Ozon ablaufen. Ozon bildet sich vor allem an wolkenlosen Sommertagen aus Stickoxiden zusammen mit Kohlenwasserstoffen, die zum Teil auch von Pflanzen abgegeben werden. Ozon wird also nicht direkt als Emission frei, sondern entsteht als Folge einer Kette chemischer Reaktionen, die durch UV-Licht ausgelöst werden. Insbesondere Ozon und Stickstoffmonoxid wiederum reagieren in der Luft miteinander. Dadurch kann zum Beispiel die Konzentration des im Zuge des Dieselskandals viel diskutierten Stickstoffdioxids, NO_2 , beeinflusst werden. Das heißt, eine NO_2 -Konzentration, die man misst, kann von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst sein. „Alle diese Zusammenhänge kann unser Chemietransport-Modell berücksichtigen“, erklärt Hendrik Elbern. Und natürlich gehen in das Computermodell auch meteorologische Daten ein – die Richtung des Windes, die Luftfeuchtigkeit oder der Niederschlag, der Schadstoffe auswäscht. Die Methode, die Hendrik Elbern und sein Team anwenden, um Diskrepanzen zwischen Emissionskatastern und gemessenen Werten aufzuklären, bezeichnen Experten als inverse Modellierung, also als Umkeh-

KOMPAKT

- Wie viele Schadstoffe in Deutschland in die Atmosphäre freigesetzt werden, wird anhand großer Datensätze abgeschätzt und in Form sogenannter Emissionskataster veröffentlicht.
- Manchmal stimmen die geschätzten Schadstoffmengen der Emissionskataster nicht mit den tatsächlich gemessenen Werten überein, weil letztere durch Transport und chemische Umwandlungen vor Ort beeinflusst werden. Mithilfe mathematischer Modelle versucht man auch, Messwerte und Emissionskataster in Einklang zu bringen.
- Da nicht an jedem Ort die Schadstoffbelastung gemessen werden kann, wird man auch weiterhin auf zuverlässige Abschätzungen angewiesen sein, um die Schadstoffbelastung bundesweit flächendeckend zu bestimmen.

VORAUSGEDACHT

„Unser Ziel ist es, den Kreislauf aller Luftschadstoffe in unserem Modell abzubilden und dabei Emissionsquellen zu ermitteln, sodass geeignete Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können: sowohl durch kurzfristige Verkehrsleitung und Kraftwerkssteuerung als auch durch eine langfristige Stadt- und Raumplanung.“



HENDRIK ELBERN
Meteorologe am Forschungszentrum Jülich (FZJ)

rung. Denn vom Messwert schließt Hendrik Elbern ja auf die Fehler in der Datengrundlage des Katasters. „Unsere Forschung besteht letztlich darin, die Datengrundlage so zu verbessern, dass die Kataster die Emissionen möglichst genau repräsentieren“, führt Hendrik Elbern aus.

Unterstützung für das Umweltbundesamt

Der Wissenschaftler arbeitet seit vielen Jahren mit dem Landesumweltamt in Nordrhein-Westfalen zusammen, um das Emissionskataster zu optimieren. In einem neuen Projekt kooperiert er mit dem Umweltbundesamt (UBA) in Dessau-Roßlau. Das UBA hat in den vergangenen Jahren das Emissions-Rechenmodell GRETA entwickelt. Es kann für ganz Deutschland errechnen, wie hoch die Emissionen und Schadstoffbelastungen sind. Zudem kann GRETA in die Zukunft blicken und simulieren, durch welche Maßnahmen sich künftig die Luftverschmutzung an bestimmten Orten verringern ließe.

Doch auch GRETA kann Hendrik Elberns Hilfe gut gebrauchen. „GRETA arbeitet sehr genau, aber eben nicht immer“, sagt Ute Dauert, Expertin am UBA für die Beurteilung der Luftqualität. „Mit der inversen Modellierung kann Herr Elbern sehr gut die von GRETA generierten Daten mit Messwerten vergleichen und uns sagen, wo etwas nicht stimmt.“ Hendrik Elbern arbeitet von Anfang an im REKLIM-Verbund mit, denn Luftqualität und regionales Klima gehören für ihn untrennbar zusammen. Zum Beispiel über die Aerosole: Diese in der Luft schwebenden Verbindungen werden teils direkt emittiert, können sich aber auch aus Luftschadstoffen bilden. Sie können mit der Sonnenstrahlung wechselwirken und einen wärmenden oder kühlenden Effekt haben. Andersherum beeinflusst auch das Klima durch Niederschläge oder charakteristische Luftströmungen die Menge der Luftschadstoffe in einer Region. Deshalb steht für Hendrik Elbern eines fest: Die Luftqualität ist definitiv ein REKLIM-Thema.



Ein Eisberg ist von einem der 13 880 Gletscher Grönlands abgebrochen und treibt nun vor der Küste der Insel. Grönlands Eisschild speichert genügend Süßwasser, um im Falle seines vollständigen Abschmelzens den globalen Meeresspiegel um 7,36 Meter steigen zu lassen.



AUF DIE WAAGE, BITTE!

TEXT: SINA LÖSCHKE

Der Eispanzer Grönlands ist mehr als viermal so groß wie Deutschland, bis zu 3 100 Meter dick und speichert ausreichend Wasser, um den weltweiten Meeresspiegel um sieben Meter anzuheben. Die Hochwassergefahr an den Küsten steigt demzufolge, je mehr Eis der Koloss verliert. Doch wie lässt sich das Gewicht eines Eisschildes kontrollieren? Mit einer Waage aus dem Weltall.

„Drei, zwei, eins und ... Abheben!“ Staubwolken wirbeln auf. Ein Feuerschein erhellt den Himmel als am 22. Mai 2018 auf dem Luftwaffenstützpunkt Vandenberg in Kalifornien (USA) eine Rakete vom Typ SpaceX-Falcon-9 ins Weltall startet. An Bord hat sie die zweite Generation des Satellitensystems GRACE. Die Abkürzung steht für „Gravity Recovery and Climate Experiment“. Frei übersetzt heißt das so viel wie „Schwerefeld-Messung und Klimaexperiment“. Und da es sich um die zweite GRACE-Mission handelt, haben die Projektleiter von der US-amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA und dem Deutschen Geoforschungszentrum (GFZ) noch das Kürzel „FO“ für „Follow-On“ an den Namen gehängt. Trotz dieses etwas umständlichen Titels ruhen die Hoffnungen Hunderter Klimaforscher auf den zwei GRACE-FO-Satelliten. Denn das Gespann kann, was mit irdischen Messungen unmöglich ist: Es vermisst innerhalb eines Monats das gesamte Schwerefeld des Planeten. Das heißt, die Satelliten dokumentieren flächendeckend die Massenveränderungen auf der Erde und damit in erster Linie die Umverteilung des Wassers zwischen den

Weltmeeren, den Kontinenten und speziell den Eisschilden. Die „Waage im Weltall“ liefert somit Antworten auf zwei der drängendsten Fragen der Klimaforschung: Wie viel Eis verlieren die Eisschilde Grönlands und der Antarktis im Zuge des Klimawandels und in welchen Regionen der Welt steigt infolgedessen der Meeresspiegel?

Einer der Forschenden, die den Start der Mission live vor Ort verfolgen, ist Dr. Ingo Sasgen vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI). Der 43-jährige dokumentiert das Wachsen und Schrumpfen des Grönländischen Eisschildes schon seit der ersten GRACE-Mission (2002-2017). Für die schiere Größe und Mächtigkeit des Eispanzers aber fehlen ihm noch immer die passenden Worte. Vergleiche müssen helfen, das kolossale Eisfeld zu beschreiben.

„Der Eisschild und seine angrenzenden Gletscher wären groß genug, nicht nur Deutschland, sondern auch Frankreich, Spanien und Italien auf einen Schlag unter sich zu begraben“ erklärt Ingo Sasgen. Deutschlands höchster Berg, die Zugspitze, würde auf dem

zentralen Hochplateau des Eisschildes immer noch 300 Meter tief im Eis versinken. Und sollte alles Eis Grönlands auf einen Schlag schmelzen, würde der globale Meeresspiegel um etwas mehr als sieben Meter ansteigen, weltweit große Küstengebiete überschwemmen und damit dem Lebensraum von Abermillionen Menschen zerstören – auch in Europa.

Grönlands Eis schmilzt an seiner Oberfläche

Wie drängend das Problem der Eisschmelze auf Grönland heute schon ist, offenbart ein Blick in die GRACE-Statistik: Seit Beginn der ersten Mission im Jahr 2002 haben der Eisschild und seine Gletscher im Durchschnitt jährlich 286 Milliarden Tonnen Eis verloren. „Die Massenverluste kommen vor allem dadurch zustande, dass die Luft über Grönland wärmer wird und dadurch die Intensität und Dauer der Schmelzsaison zunehmen“, sagt Ingo Sasgen. Die Eiskappe Grönlands verliert heute fast doppelt so viel Eis durch Schmelzprozesse an der Oberfläche als noch im Zeitraum von 1960 bis 1990.



Wenn ein Eisstrom einen steilen Abhang hinabfließt, reißt das Eis und Spalten entstehen - so wie hier beim 79-Grad-Gletscher im Nordosten Grönlands.



Am 22. Mai 2018 hebt auf dem kalifornischen Luftwaffenstützpunkt Vandenberg eine SpaceX-Falcon-9 Rakete ab. Sie schießt das Satellitengespann GRACE-FO auf seine Erdumlaufbahn in 490 Kilometer Höhe.

Damals waren die Eiszuwächse und -einbußen nahezu ausgeglichen. Die Massenverluste durch das Abbrechen von Eisbergen haben bis heute um etwa ein Viertel zugenommen. Grönland liefert mittlerweile den größten Schmelzwasserbeitrag zum aktuellen Anstieg des globalen Meeresspiegels. Dieser beträgt aktuell 3,3 Millimeter pro Jahr, Grönlands Anteil beläuft sich auf fast 0,8 Millimeter. Extrem hohe Schmelzraten registrierte GRACE im Sommer 2012. Damals ließen außergewöhnlich warme Luft und ein anhaltend wolkenloser Himmel Grönlands Eispanzer auf sage und schreibe 97 Prozent seiner Oberfläche schmelzen. Der Eispanzer verlor damals allein im Monat

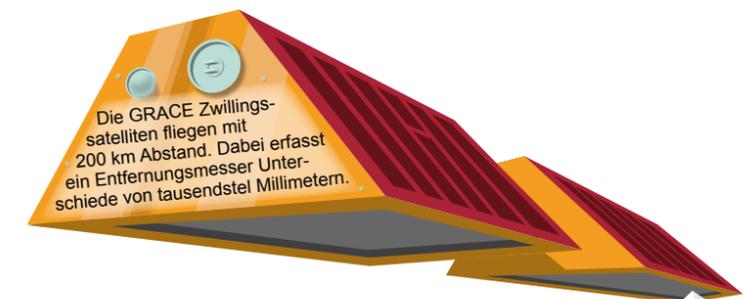
Juli 400 bis 500 Milliarden Tonnen Eis, was zu einem globalen Meeresspiegelanstieg von mehr als einem Millimeter führte. „Diese Veränderungen hätten wir ohne GRACE niemals beziffern können, weil die 18 Schnee- und Eisbeobachtungsstationen auf Grönland nicht ausreichen, um auf den gesamten Eisschild schließen zu können. GRACE ist das einzige Instrument, mit dem solche genauen Langzeitbeobachtungen und Monatsvergleiche der Massenbilanz für den gesamten Eisschild möglich sind“, sagt Ingo Sasgen. Zur Überraschung der Wissenschaftler folgte auf den extremen Schmelzsommer 2012 ein kaltes Jahr, in dem sich die Gesamtmenge des Neuschnees nahezu die Waage hielt

mit den Eisverlusten durch Schmelze und Eisbergabbrüche. „Der Trend seit 1990 ist eindeutig - Grönland erwärmt sich und verliert mehr und mehr Eis. Die GRACE-Daten zeigen aber auch, dass die Massenbilanz des Eisschildes stark variiert. Von extremer Schmelze bis hin zu Jahren mit viel Schneefall und wenig Schmelzverlusten ist inzwischen alles möglich“, erklärt der Wissenschaftler.

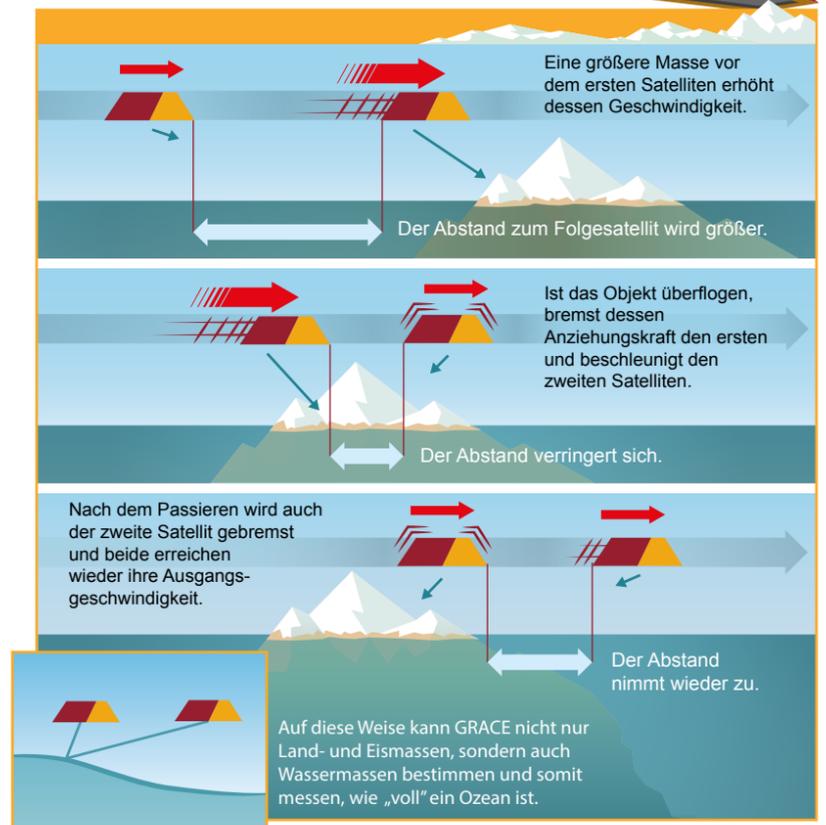
Das Beste aus zwei Welten

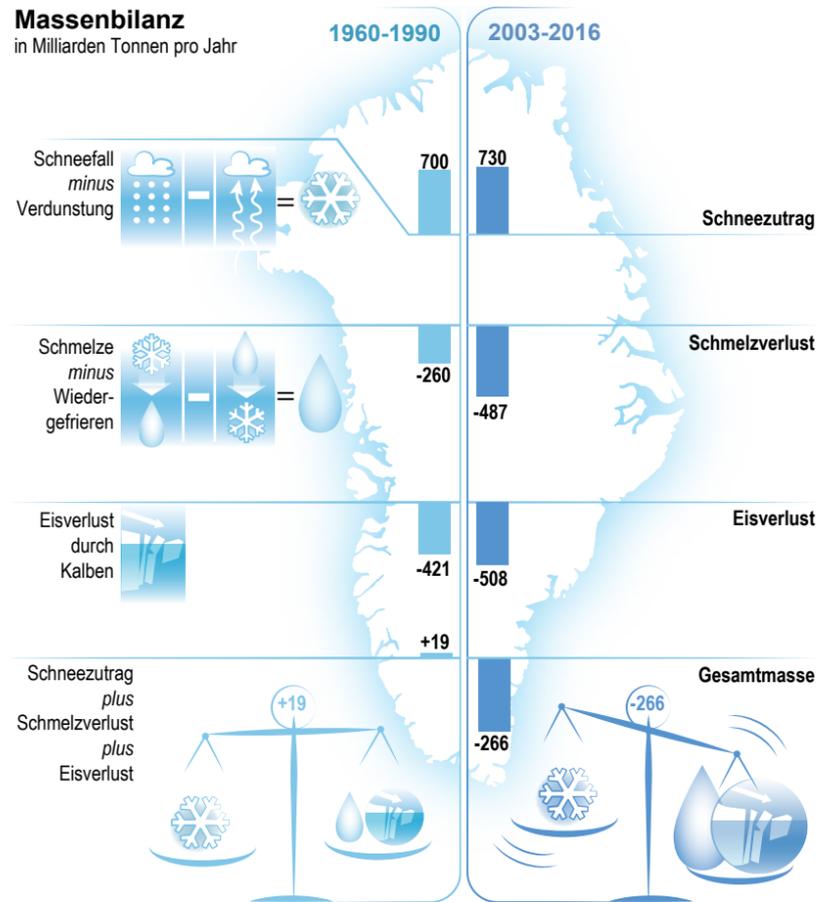
Um genauer zu verstehen, in welchen Regionen der Grönländische Eisschild am schnellsten schrumpft, wird Ingo Sasgen die GRACE-Schwerefeld-Daten mit Radarmessungen des ESA-Satelliten CryoSat-2 kom-

binieren. Dieser misst die Höhenänderung der Eisfelder Grönlands in einer Auflösung von bis zu fünf Kilometern und kann im Gegensatz zu GRACE, dessen Auflösung nur 400 Kilometer beträgt, einzelne Gletschersysteme abbilden. „Wir nehmen quasi das Beste aus beiden Datensätzen und verheiraten es miteinander, um regionale Unterschiede zu erkennen“, sagt Ingo Sasgen. Das Ziel dieser REKLIM-Arbeit lautet, eine Karte des Grönländischen Eisschildes zu erstellen, die in hoher Auflösung zeigt, wie sich die Eismassen verändern und wie sich die Verlustzonen über die Zeit ausdehnen. Der optimierte Datensatz hilft außerdem, Klima- und Eisschildmodelle zu verbessern.



Die GRACE Zwillingssatelliten fliegen mit 200 km Abstand. Dabei erfasst ein Entfernungsmesser Unterschiede von tausendstel Millimetern.





Ob ein Eisschild wächst oder schrumpft, hängt davon ab, wie viel Schnee im Winter fällt, welcher Anteil davon im Sommer schmilzt und wieviel Eis durch Eisbergabbrüche verloren geht. Die Massenbilanz des grönländischen Eispanzers war in den zurückliegenden 16 Jahren stark negativ - vor allem, weil die Schmelze an der Eisschildoberfläche zugenommen hat.



Ein Bach voller Schmelzwasser bahnt sich seinen Weg über den Grönländischen Eisschild. Bislang fällt die Oberflächenschmelze nur in den Randregionen Grönlands so hoch aus, dass sich Seen und Bäche auf dem Eis bilden. Bei anhaltender globaler Erwärmung dürfte dies aber auch in zentraleren Lagen der Fall sein.

In der Zeit vor GRACE konnten die Wissenschaftler ihre Klimamodelle nur mit den wenigen Punktmessungen der grönländischen Schnee- und Eismessstationen kalibrieren. Dadurch war allerdings nicht sichergestellt, dass die Modelle die Massenbilanz auch richtig berechneten. Heute genügt ein kurzer Abgleich der Modellergebnisse mit den GRACE-Daten, um die Qualität des Modells zu überprüfen. „Es ist wirklich wichtig, dass wir genau wissen, wie viel Eis Grönland verliert. Denn erst, wenn wir diese Verlustraten richtig in den Klimamodellen abbilden können, sind wir in der Lage, die Zukunft

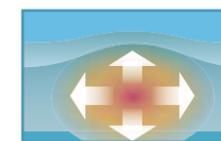
des Eisschildes und des Meeresspiegels mit hoher Genauigkeit vorherzusagen“, betont Ingo Sasgen.

Eine Frage der Anziehungskraft

Mithilfe von GRACE das Mehr an Wasser und damit den Meeresspiegelanstieg zu bestimmen, ist aus zwei Gründen deutlich schwieriger, als das Gewicht des Eisschildes zu messen. Zum einen verteilt sich das Schmelzwasser Grönlands auf den gesamten Ozean, dessen Fläche etwa 200-mal so groß ist, wie die des Eisschildes. Das Massesignal wird damit so klein, dass es für GRACE

kaum noch messbar ist. Zum anderen wird der Pegelanstieg an einer Küste durch drei Faktoren bestimmt: (1) durch die Menge des zusätzlichen Wassers; (2) durch die temperaturbedingte Ausdehnung des Wassers, und (3) durch jenes Maß, in dem sich das Land eventuell hebt oder absenkt. „GRACE verrät uns anhand der Massenänderungen im Ozean, wohin das Schmelzwasser eines Eisschildes wandert und wie viel Wasser sich vor den Küsten aufstaut. Kombinieren wir diese Daten mit Satellitenmessungen zur Höhenveränderung der Ozeane und mit den Temperaturdaten autonomer, tieftauchender

DIE DREI FORMEN DES MEERESSPIEGELANSTIEGES



SCHMELZWASSEREINTRAG

Schmelzen Gletscher und Eisschilde, rinnt das Schmelzwasser vom Land ins Meer und erhöht die Wassermenge der Ozeane, sodass deren Pegel steigt. Die Eisverluste in Grönland und der Antarktis verursachen mittlerweile ein Drittel des globalen Anstieges; knapp ein weiteres Drittel tragen die schrumpfenden Hochgebirgsgletscher bei.

WÄRMEBEDINGTE AUSDEHNUNG

Wenn Wasser wärmer wird, dehnt es sich aus und nimmt mehr Raum ein als zuvor. Das gilt auch für die Ozeane. Bislang trägt deren wärmebedingte Ausdehnung zu einem Drittel zum globalen Meeresspiegelanstieg bei - Trend anhaltend. Im Zuge des Klimawandels erwärmen sich nämlich insbesondere die Ozeane.

LANDSENKUNG

Hohe Pegelanstiege verzeichnen Küstenabschnitte in Nordamerika und Europa, die während der letzten Eiszeit in unmittelbarer Nähe großer Eisschilde gelegen haben. Damals wurden diese Gebiete aufgrund des Gewichts der Eismassen angehoben; bis heute sinken sie wieder ab, was den lokalen Meeresspiegelanstieg zusätzlich verstärkt.

VORAUSSGEDACHT

„Ich möchte mit GRACE untersuchen, wann die Eismassenverluste auf Grönland und in der Antarktis auf einen Punkt zusteuern, an dem es kein Zurück mehr für das Abschmelzen gibt, egal wie das Klima sich entwickelt. Solche Kipppunkte zu erkennen, ist vor allem in Sachen Meeresspiegelanstieg extrem wichtig.“

INGO SASGEN
Geophysiker am Alfred-Wegener-Institut,
Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)



Schmelzwasser strömt unter dem Russell-Gletscher hervor. Es stammt meist aus Seen auf dem Gletscher, die infolge von Rissen im Eis leergelaufen sind.

Messsysteme, ergibt sich ein umfassendes Bild des weltweiten Meeresspiegelanstieges“, erklärt Ingo Sasgen.

Grob skizziert sieht die Situation derzeit etwa so aus: Wenn auf Grönland das Eis schmilzt, steigt der Meeresspiegel zunächst einmal insgesamt, weil mehr Wasser in den Weltozean gelangt. Durch die Schwerkraft der Erde aber werden diese Wassermassen anschließend umverteilt. Das heißt, Regionen mit geringem Schwerefeld und demzufolge wenig Anziehungskraft bekommen weniger Wasser ab, Regionen mit großer Anziehungskraft dagegen mehr. „Und da sowohl Grönland als auch die Antarktis aufgrund ihrer Eismassenverluste Anziehungskraft einbüßen, sammelt sich das Wasser vor allem in den mittleren Breiten“, erklärt Sasgen. „Die Veränderungen in den Polargebieten betreffen uns in den mittleren Breiten also am meisten.“

Er wartet jetzt gespannt auf die ersten Daten, die GRACE-FO seit Juni 2018 zum Satelliten-Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen funkt und aus denen gegenwärtig Schwerefelder berechnet werden. Basierend auf den neuen Messergebnissen wollen Ingo Sasgen und eine AWI-Kollegin eine statistische Methode zur Vorhersage der grönländischen Eismassenbilanz entwickeln. Für das arktische Meereis funktioniert ein vergleich-

barer Ansatz schon ziemlich gut. GRACE-FO wird für diese Vorhersagen die notwendigen Daten liefern und – wenn alles glattgeht – die Schwerefelder der Eisschilde und Ozeane in den nächsten zehn Jahren verlässlich im Blick behalten. „Diese Daten vom offenen Ozean bis zur Küste hin fortzusetzen, bleibt eine der großen Herausforderungen, die wir in REKLIM zukünftig angehen wollen“, sagt Ingo Sasgen.

KOMPAKT

- Mit dem Satellitengespann GRACE und seinem Nachfolger GRACE-FO lassen sich die Wanderung des Wassers auf der Erde und somit auch das Wachsen und Schrumpfen der Eisschilde genau verfolgen.
- Der Grönländische Eisschild und die dazugehörigen Gletscher verlieren im Durchschnitt jährlich 286 Milliarden Tonnen Eis und tragen damit maßgeblich zum Anstieg des Meeresspiegels bei.
- Die GRACE-Daten helfen außerdem zu bestimmen, wo auf der Welt der Meeresspiegel am deutlichsten steigt – derzeit vor allem in den mittleren Breiten.

PRAXISBEZUG

26 ZENTIMETER IN 100 JAHREN

Die Wasserstände an Niedersachsens Küsten steigen deutlich, aber nicht überall gleichmäßig. Küstenschutzexperte Dr. Andreas Wurpts erklärt, warum der tatsächliche Meeresspiegelanstieg so schwierig zu bestimmen ist und welche Rolle die Forschung für den Küstenschutz spielt.

► **Wie stark ist der Meeresspiegel an der niedersächsischen Küste bislang gestiegen?**

Andreas Wurpts: Diese Frage lässt sich kaum mit nur einer Zahl beantworten, weil sich die Entwicklung des gemessenen Pegelstandes entlang der Nordseeküste von Messstation zu Messstation teils deutlich unterscheidet. Hier auf Norderney, wo der Pegel seit etwa 120 Jahren betrieben wird, fallen die mittleren Tide-Hochwasser heute rund 26 Zentimeter höher aus als noch vor 100 Jahren. Der Pegel des Niedrigwassers dagegen ist nur um 13 Zentimeter gestiegen. Zum Vergleich: Auf Helgoland betrug der Anstieg des Hochwasserpegels 21 Zentimeter pro Jahrhundert, in Wilhelmshaven 29, auf Wangerooge 31 Zentimeter – und man fragt sich zwangsläufig: Warum gibt es da solche Unterschiede?

► **Haben Sie eine Erklärung dafür?**

Dazu läuft derzeit ein Verbundforschungsprojekt, in dem wir versuchen, diese Unterschiede modelltechnisch und statistisch zu erklären und herauszufinden, wie groß der tatsächliche Meeresspiegelanstieg ist. Hier gilt es nämlich mehrere Einflussfaktoren zu bedenken. Zum einen hängen die Pegel-

stände an der Nordseeküste vom Wind ab. Je nach Wetterlage drückt er das Wasser entweder in unseren Küstenbereich hinein oder schiebt es heraus. Zum anderen wissen wir, dass sich unsere Küstengebiete absenken – und das in einer Größenordnung, die nicht vernachlässigt werden kann. Die Gezeitendynamik hat sich auch dadurch verändert, dass Ästuare für die Schifffahrt vertieft und begradigt worden sind. Die Tatsache, dass der Niedrigwasserpegel langsamer steigt als der Hochwasserpegel, erklärt sich unter anderem dadurch, dass sich die Gezeitenwelle aufgrund der veränderten Wassertiefen heutzutage anders ausbreitet.

► **Wie weit im Voraus müssen Sie wissen, wie stark der Meeresspiegel steigt, um die Deiche rechtzeitig anpassen zu können?**

Das Verfahren, mit dem wir in Niedersachsen die erforderliche Deichhöhe bemessen, basiert auf gemessenen Werten, die wir dauerhaft überwachen und im 10-Jahresrhythmus überprüfen. Wichtig sind zum Beispiel das mittlere Tide-Hochwasser der vergangenen fünf Jahre sowie der höchste bislang beobachtete Sturmflutwasserstand. Steigt der Meeresspiegel, nimmt auch das

mittlere Tide-Hochwasser zu, wodurch der Pegelanstieg automatisch bei der Deichhöhenberechnung mitberücksichtigt wird. Und weil wir wissen, dass sich der Meeresspiegelanstieg beschleunigen wird, kommt neben anderen Annahmen auch noch ein sogenanntes Vorsorgemaß in Höhe von 50 Zentimetern pro Jahrhundert oben drauf. Das entspricht der zweifachen derzeit beobachteten Anstiegsrate. Auf diese Weise erhalten wir eine erforderliche Deichhöhe, die uns formal Sicherheit für die nächsten 100 Jahre geben soll.

► **Verfolgen Sie trotzdem, welche neuen Erkenntnisse die Wissenschaft zum Meeresspiegelanstieg veröffentlicht?**

Das ist eine unserer Kernaufgaben in der Forschungsstelle Küste im NLWKN. Wir tragen die wissenschaftlichen Grundlagen zusammen, verbessern stetig unsere Analysemethoden und bereiten alles anwendungsrelevante Wissen so auf, dass es für die Verwaltung nutzbar wird. Wir arbeiten außerdem aktiv in Verbundforschungsprojekten mit Wissenschaftlern anderer Einrichtungen zusammen und stehen beispielsweise im engen Austausch mit dem Norddeutschen Klimabüro und den Wissenschaftlern am Helmholtz-Zentrum Geesthacht. Solche Kooperationen haben für uns aus verschiedenen Gründen große Bedeutung; beispielsweise, um Ergebnisse aktueller Forschung zeitnah und zielgerichtet in Verwaltungshandeln einbeziehen zu können. Im Gegenzug hege ich stets die Hoffnung, durch diese Zusammenarbeit auch auf Seiten der Wissenschaftler das Bewusstsein für die konkreten Belange der Verwaltung verbessern zu können. ■



Dr. ANDREAS WURPTS
Andreas Wurpts leitet die Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz (NLWKN) mit Standorten in Norden und auf Norderney.



EINE FRAGE DER PERSPEKTIVE

Was die Menschen über den Klimawandel denken und wie sie mit ihm umgehen, hängt stark von ihrem Lebensumfeld ab. Sozialwissenschaftler von REKLIM haben Bürger an unterschiedlichen Orten befragt, wie drängend das Klimaproblem für sie ist. Es gibt deutliche Unterschiede.



KLIMATYP 1: Die Kommunitaristen
Menschen dieses Klimatyps betonen ihre Verantwortung gegenüber ihrem Lebensumfeld. Für sie ist der Klimawandel ein systemischer Fehler der Gesellschaft, der zukünftige Generationen unfair belastet. Deshalb ist sofortiges Handeln notwendig.



KLIMATYP 2: Die Systemiker
Sie verstehen den Klimawandel als einen von mehreren systemischen Fehlern der Gesellschaft und meinen, dass andere globale Probleme, wie z. B. Hunger, zuerst gelöst werden sollten. In Sachen Klima sei mittelbares Handeln notwendig.



KLIMATYP 3: Die Ökonomen
Sie vertreten den Standpunkt, dass man nicht erst auf die wissenschaftliche Bestätigung des Klimawandels warten sollte, sondern sofort handeln müsse. Ökonomische Anreize wie Steuern auf Öl oder Kohlendioxid helfen, Emissionen zu reduzieren.



KLIMATYP 4: Die Skeptiker
Sie argumentieren, dass der menschenverursachte Klimawandel wissenschaftlich noch nicht bewiesen ist. Die Klimaforschung sei nicht präzise genug. Investitionen in Anpassungs- oder Klimaschutzmaßnahmen sind ihrer Ansicht nach eine Geldverschwendung.



Nordseeinsel



Großstadt



TRIGGER GESUCHT

INTERVIEW: SINA LÖSCHKE

Die Vergangenheit lehrt uns: Das Klima der Erde kann plötzlich kippen und sich innerhalb kurzer Zeit extrem abkühlen oder aber erwärmen. Wie groß die Gefahr eines abrupten Klimawechsels derzeit ist und wodurch solche Umschwünge in der Vergangenheit ausgelöst wurden, erforschen die

REKLIM-Klimawissenschaftler Achim Brauer und Ralf Tiedemann.

Ein Gespräch über neue Erkenntnisse, in deren Licht unsere Zukunft ungewiss erscheint.

► **Herr Tiedemann, Herr Brauer: Die Klimageschichte der Erde hält handfeste Überraschungen parat. Allein im Zuge der letzten Eiszeit kam es über 20-Mal zu einer plötzlichen, dramatischen Erwärmung. Wie schnell ist das Klima damals umgeschlagen und erlebt die Menschheit gerade einen vergleichbar raschen Wandel?**

Ralf Tiedemann: Ein Vergleich des gegenwärtigen Geschehens mit den damaligen Klimaschwankungen ist schwierig, denn die abrupten Klimaumschwünge im Zeitraum vor 10 000 bis 50 000 Jahren traten innerhalb weniger Jahrzehnte auf. Von Klimadaten aus Eiskernen wissen wir, dass in diesen Phasen zum Beispiel die Lufttemperatur über Grönland innerhalb von ein bis drei Jahrzehnten, ja teilweise sogar innerhalb von wenigen Jahren, um acht bis zehn Grad Celsius gestiegen ist. Über Europa waren es vier bis fünf Grad Celsius. Dann vergingen

mehrere Jahrhunderte, bis sich die Atmosphäre wieder auf eiszeitliche Bedingungen abkühlte.

Achim Brauer: Temperatursprünge dieses Ausmaßes beobachten wir derzeit natürlich nicht. Die Erde hat sich in den zurückliegenden 120 Jahren um ein Grad Celsius erwärmt. Tatsache ist aber auch, dass die Erwärmung nicht überall gleich ist. In der Arktis zum Beispiel schreitet sie doppelt so schnell voran wie in der restlichen Welt. Solche regionalen Unterschiede sehen wir auch in den von uns untersuchten Klimadaten der Vergangenheit. Auch wenn wir in Grönland derzeit keinen Temperaturanstieg messen, der an die abrupten Klimaschwankungen der Vergangenheit heranreicht, so deutet die Klimageschichte jedoch darauf hin, dass mit der menschengemachten graduellen Erderwärmung die Wahrscheinlichkeit plötzlicher Klimaumschwünge steigt.

► **Das ist eine ziemlich beunruhigende Aussage: Wie kommen Sie zu dieser Schlussfolgerung?**

Achim Brauer: Unser Wissen über das Klima der Vergangenheit stammt aus grönländischen Eiskernen sowie aus Sedimentkernen, die wir in verschiedenen Meeresregionen und in Seen Europas gebohrt haben. Darüber hinaus haben wir auch Jahresringe versteinelter Bäume untersucht. Diese Klimaarchive ermöglichen es uns zum Beispiel, die damaligen Temperaturen und Niederschlagsverhältnisse zu rekonstruieren. Zu plötzlichen Klimaumschwüngen kam es demzufolge vor allem in den Übergangphasen zwischen den Warm- und Kaltzeiten. Diese traten immer dann auf, wenn die Einstrahlung der Sonne auf die Erde durch Veränderungen der orbitalen Parameter zu- oder abnahm. Infolgedessen stellten sich dann allmählich großräumige Verände-



PROF. DR. RALF TIEDEMANN

ist Geologe am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, und spezialisiert auf die Rekonstruktion der Klimageschichte mithilfe von Eisbohr- und Sedimentkernen aus den Ozeanen. An REKLIM begeistert ihn, dass der Verbund, „führende Wissenschaftler zusammengebracht hat, die in unterschiedlichen Regionen der Nordhemisphäre gearbeitet und erstmals einen umfassenden Abgleich von Klimadaten aus Grönland, Europa, dem Atlantik und dem Nordpazifik möglich gemacht haben.“

rungen ein, die das Klimasystem destabilisierten und die Wahrscheinlichkeit abrupter Klimaschwankungen erhöhten.

Ralf Tiedemann: Durch den massenhaften Ausstoß von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen haben wir Menschen auf künstliche Weise eine solche Übergangsphase eingeleitet. Das Klima wird derzeit immer wärmer, dadurch instabiler und anfälliger für abrupte Klimaänderungen.

► **Welche Faktoren haben denn in der Vergangenheit rasche Klimaumschwünge ausgelöst?**

Ralf Tiedemann: Meist gab es nicht den einen Grund, sondern immer eine ganze Kaskade.

Achim Brauer: Wir haben in REKLIM vor allem den plötzlichen Beginn der vor etwa 12 700 Jahren auftretenden Kaltphase untersucht. Sie führte in Europa zu deutlich

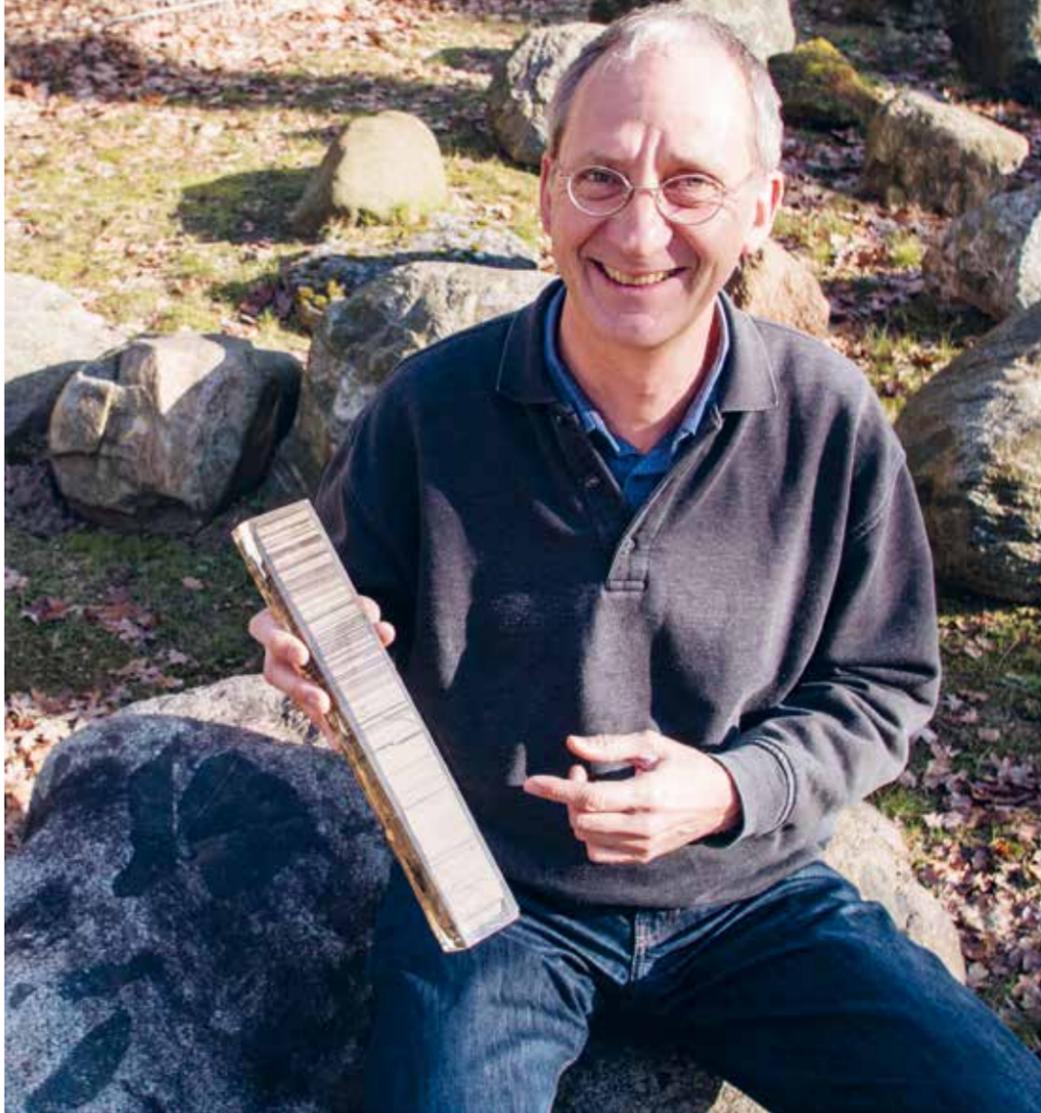
kälteren Wintern, zog sich über 1 100 Jahre hin und fiel in jene Zeit, als sich das Klima zum Ende der letzten Eiszeit allmählich erwärmte. Wer oder was den Kälteeinbruch auslöste, ist bis heute nicht eindeutig geklärt. Wir kommen in unseren Studien jedoch zu dem Ergebnis, dass das Meereis der nördlichen Hemisphäre eine wichtige Rolle gespielt hat. Seine winterliche Ausdehnung vom Arktischen Ozean bis zum 50. Breitengrad Nord, also bis auf die Höhe von Frankfurt am Main, hat damals die Zirkulation der Luftmassen über der Nordhalbkugel beeinflusst. Denn wo Meereis den Ozean bedeckt, kann das Wasser seine Wärme nur schlecht an die Atmosphäre abgeben.

Ralf Tiedemann: Ein zweiter Mechanismus, der damals wohlmöglich eine Rolle spielte, war die Veränderung der Meeresströme im Nordatlantik, hier vor allem die Abschwächung des Nordatlantikstroms, der

gemeinhin auch als Golfstrom bezeichnet wird. Er bringt heute einen Großteil jener Wärme in den nördlichen Atlantikraum, die für das milde Klima in Nordeuropa mit verantwortlich ist. Damals jedoch versiegte dieser Wärmetransport, was wahrscheinlich der Grund dafür war, dass diese Kaltphase so lange andauerte.

► **Das klingt, als sei das Meereis in Sachen Klima das Zünglein an der Waage?**

Ralf Tiedemann: Ja, das gilt zum einen für das Wetter in Europa, viel mehr aber noch für die Belüftung des Nordpazifiks. Dazu muss man wissen, dass der Pazifische Ozean die größten Sauerstoffminimumzonen im Weltozean beherbergt, die sich im Zuge des Klimawandels noch ausweiten werden, so die Annahme. Derzeit verhindert eine stabile Schicht aus salzarmem Oberflächenwasser die Umwälzung der



PROF. DR. ACHIM BRAUER

arbeitet als Geologe am Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ). Grundlage seiner Klimarekonstruktionen sind vor allem kontinentale Archive wie See-Sedimente und Baumringe. In REKLIM hat er gelernt, „den Einfluss der Ozeane bei der Interpretation kontinentaler Klimadaten immer mitzudenken.“

Wassermassen im Nordpazifik und damit den Transport von sauerstoffreichem Wasser von der Meeresoberfläche in die Tiefe. Die einzige Sauerstoffquelle für dieses riesige Gebiet ist das Ochotskische Meer - ein Randmeer des Nordpazifiks, welches zwischen Kamtschatka, Japan und dem russischen Festland liegt. Bildet sich hier im Winter Meereis, steigt der Salzgehalt in den darunterliegenden Wassermassen durch das Ausfällen von Salzlake und erhöht deren Dichte. Die kalten und sauerstoffreichen Wassermassen werden schwerer, sinken ab und fließen aus dem Ochotskischen Meer in den Nordpazifik, wo sie die Wassermassen in mittleren Tiefen bis zum Äquator hin mit Sauerstoff versorgen.

Achim Brauer: Dieser Mechanismus war in der Vergangenheit jedoch nicht der Normalfall, wie unsere REKLIM-Forschung gezeigt hat.

Ralf Tiedemann: Richtig, wenn wir die Zeit etwa 6 000 Jahre zurückdrehen, dann stellen wir fest, dass zu diesem Zeitpunkt die Durchlüftung des Nordpazifiks drastisch reduziert war. Im Ochotskischen Meer wurde einfach kein Eis mehr gebildet. Dem Pazifischen Ozean ist in dieser Phase im wahrsten Wortsinn die Luft ausgegangen. Diese Entwicklung wird sich im Zuge des aktuellen Klimawandels wahrscheinlich wiederholen. Ozeanographische Messungen zeigen schon jetzt, dass der Sauerstoffgehalt des Zwischenwassers abnimmt, während seine Temperatur steigt. Es droht

ein flächendeckender Sauerstoffmangel mit dramatischen Folgen für die Lebensgemeinschaften des Nordpazifiks und am Ende auch für die Fischerei.

► **Schrumpfendes Meereis in der Arktis, sauerstoffarmes Wasser im Pazifik und ein sich abschwächender Golfstrom: Diese aktuellen Beobachtungen erinnern an die von Ihnen erforschten Klimasprünge in der Vergangenheit. Wie genau aber hilft uns das Wissen über historische Klimaumschwünge im Umgang mit dem aktuellen Klimawandel?**

Achim Brauer: Zum einen schärft es unser Bewusstsein, dass es überhaupt zu extrem schnellen Klimaveränderungen kommen kann. Zum anderen haben wir aufgrund unserer

Forschung eine genauere Vorstellung davon, welche Wechselwirkungen einsetzen, wenn sich das Klima verändert. Wie zum Beispiel werden sich die Erdoberfläche und die Vegetation verändern? Wird es mehr Erosion geben oder mehr Extremereignisse? Antworten auf diese und andere Fragen leiten wir aus der Vergangenheit ab und können so skizzieren, mit welchen Veränderungen wir im Falle abrupter Temperaturänderungen zukünftig rechnen müssen.

► **Was erwartet uns im Ernstfall: Können Sie ein Beispiel nennen?**

Achim Brauer: Ein plakatives Beispiel stammt aus Norddeutschland. Wir haben herausgefunden, dass in den plötzlichen Erwärmungsphasen vor 11 000 Jahren die Wasserpegel der Seen in Norddeutschland acht bis neun Meter niedriger waren, als sie es heutzutage sind. Vielen kommen da vielleicht die Bilder des trockenen Sommers 2018 in den Kopf, als die Wasserstände derselben Seen um zwei bis drei Meter gesunken waren. Unsere Klimadaten aber liefern gute Anhaltspunkte dafür, dass wir im Falle einer raschen Erwärmung mit noch viel größeren Pegel-Rückgängen rechnen müssen; sehr wahrscheinlich auch mit starken Vegetationsveränderungen.

Ralf Tiedemann: Wir müssen ehrlicher Weise aber auch sagen, dass man die damaligen Entwicklungen in Europa nicht direkt in die Gegenwart übertragen kann. Bei unseren Studien beobachten wir naturbelassene Systeme, in denen wir die genannten Veränderungen allerdings ganz drastisch sehen. Heute jedoch leben wir in einer stark vom Menschen beeinflussten Welt, die noch viel verletzlicher ist - vor allem gegenüber plötzlichen Klimaschwankungen.

► **Mal ganz direkt gefragt: Wie groß ist denn die Gefahr eines Klimaumschwüngen?**

Ralf Tiedemann: Bevor der Mensch nachhaltig in das Klimageschehen eingegriffen hat, schwankten die atmosphärischen Kohlendioxid-Konzentrationen zwischen 180 und 280 parts per million (ppm). Dieser Bereich war die Schwankungsbreite

zwischen einer Kalt- und einer Warmzeit und es genügten geringfügige Konzentrationsveränderungen, um große Temperatursprünge auszulösen. Heute liegen wir bei etwa 410 ppm. Das heißt, wir haben die Treibhausgaskonzentration innerhalb sehr kurzer Zeit rasant steigen lassen und auf unserem Weg eventuell auch schon Schwellenwerte im Klimasystem überschritten, von denen wir noch gar nicht wissen, wo sie überhaupt liegen. Die Frage des wie und wann lässt sich deshalb nicht beantworten.

► **Können Sie denn mit ihrer Forschungsarbeit für mehr Gewissheit sorgen?**

Achim Brauer: Wir haben in zehn Jahren REKLIM wirklich große methodische Fortschritte gemacht. Wir sind zum Beispiel jetzt in der Lage, die verschiedenen Klimaarchive aus Grönland und Europa auf das Jahr genau zu synchronisieren. Dazu nutzen wir feinste Aschespuren von Vulkanausbrüchen auf Island, die wir in allen Klimaarchiven finden. Sie helfen uns wie Datumsanzeiger, die Proben genau zu datieren, sodass wir nur zeitgleich entstandene Ablagerungen oder Eisproben miteinander vergleichen. Auf diese Weise können wir den Zustand verschiedener Klimakomponenten zu einem bestimmten Zeitpunkt untersuchen. Wie warm war es damals? Wie zirkulierten die Meeresströmungen und wie wanderten die Luftmassen? Diese drängenden Fragen können wir nun angehen.

► **Gab es bei ersten Vergleichen verschiedener Klimaarchive denn schon überraschende Ergebnisse?**

Achim Brauer: Mich hat beeindruckt, dass die abrupte Abkühlung vor 12 700 Jahren in den grönländischen Eiskernen bereits 170 Jahre früher zu erkennen ist als in den Sedimentablagerungen aus Europa. Damit bestätigt sich ein Muster, welches wir auch heute sehen. Klimaveränderungen treten zuerst in den Polarregionen auf und sind erst mit einigen Jahrzehnten Verzögerung auch in den mittleren Breiten zu spüren. Anhand unserer Klimadaten können wir jetzt nicht nur die regionalen Unterschiede vergangener Klimawechsel beschreiben. Wir sind auch in der Lage nachzuvollziehen, in welchem Tempo sich der Wandel über die Nordhalbkugel ausbreitete.

Ralf Tiedemann: Ein ebenso aufschlussreiches Muster haben wir entdeckt, als wir die rekonstruierten Temperaturdaten aus dem Nordpazifik und dem Nordatlantik miteinander verglichen haben. Demnach werden Klimasignale aus dem grönländischen Nordatlantik in den nordpazifischen Raum übertragen. Wenn sich zum Beispiel die Umwälzbewegung der Wassermassen im Nordatlantik verstärkte, wurde im Nordpazifik weniger Zwischenwasser produziert und umgekehrt.

Achim Brauer: Wir wissen heute, abrupte Klimaveränderungen wirkten über den gesamten Globus, aber nicht überall gleich. Die Wirkungen waren nicht einmal zeitgleich. Sie unterschieden sich in ihren Amplituden und Ausprägungen und waren somit in jeder Region anders. In den nächsten Jahren wird es darum gehen, diese regionalen Auswirkungen noch detaillierter zu untersuchen. ■

KOMPAKT

- In Übergangsphasen zwischen Warm- und Kaltzeiten kam es in der Vergangenheit wiederholt zu plötzlichen Umschwüngen des Klimas, bei denen sich die Erde innerhalb kurzer Zeit entweder schnell erwärmte oder abkühlte.
- Durch den enormen Ausstoß von Treibhausgasen hat der Mensch auf künstliche Weise eine solche Übergangsphase eingeleitet. Die Wahrscheinlichkeit, dass das Klima plötzlich kippen könnte, steigt derzeit.
- Eine besondere Rolle nimmt das arktische Meereis ein: Schrumpfte es in der Vergangenheit oder breitete es sich enorm aus, so hatte das jeweils grundlegende Folgen für das Klima der Erde.

AUS HEITEREM HIMMEL

TEXT: TIM SCHRÖDER

Schwere Hagelstürme verursachen in Deutschland enorme Schäden. Wo, wann und warum Hagel fällt, ist jedoch noch nicht richtig verstanden. Nutzer wie etwa Versicherungen wünschen sich daher, das Hagelrisiko genauer zu kennen. REKLIM-Forscher aus Karlsruhe haben ein Verfahren für eine solche Risikoschätzung entwickelt und dabei auch untersucht, inwieweit sich die Häufigkeit von Hagelstürmen im Zuge des Klimawandels verändert.

Hagelgewitter werden nicht nur von Autobesitzern gefürchtet. Die manchmal bis zu tennisballgroßen Eisklumpen beschädigen auch Dächer, Hausfassaden, Solaranlagen, Gewächshäuser und Pflanzen auf den Feldern.



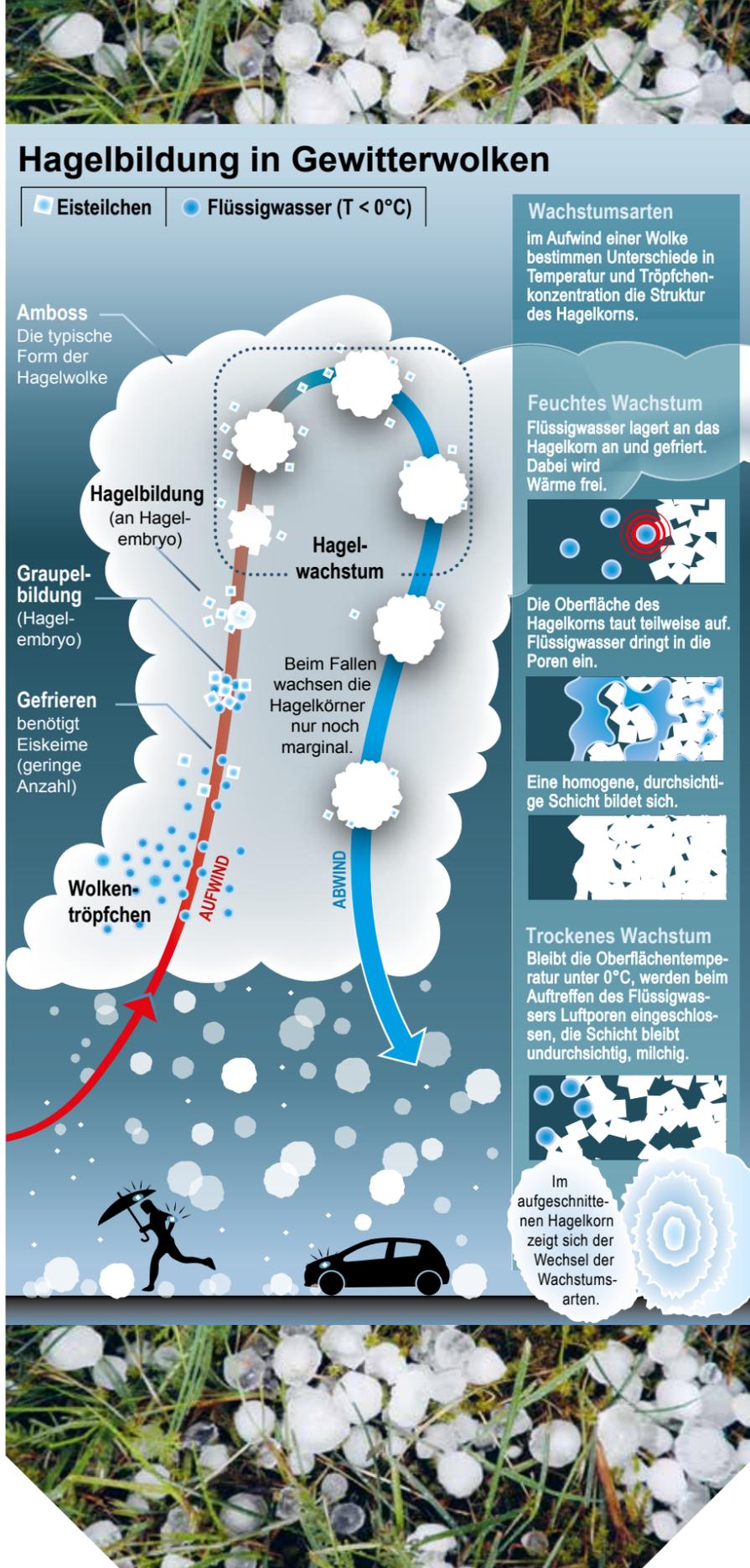
Für die Bewohner Reutlingens fühlte es sich an, als würden Geschosse einschlagen. Am 28. Juli 2013 zog ein schweres Gewitter über die Stadt hinweg. Es ließ Hagelkörner groß wie Golf- und Tennisbälle auf die Stadt und die Nachbarorte niederprasseln. Die Eisklumpen zertrümmerten Dachziegel, Hausfassaden, Gewächshäuser, Solaranlagen und verbeulten Autos. Auf den Äckern zerschlugen sie die Pflanzen. Der Hagelsturm währte nur wenige Minuten und doch war der Schaden immens. Die Versicherungsschäden beliefen sich am Ende auf mehr als eine Milliarde Euro. Trotz dieses Schadenpotentials hatte man das Thema Hagel hierzulande lange eher stiefmütterlich behandelt. Ein Grund: Die von Hagel betroffenen Flächen sind in der Regel sehr klein, da Gewitter nur eine geringe räumliche Ausdehnung von rund zehn Kilometern haben. Tatsächlich aber ist Hagel, wie das Beispiel Reutlingen zeigt, ein ernstzunehmendes Risiko. Bei den versicherten Schäden durch Naturkatastrophen schlägt der Hagel in Deutschland und Europa mit rund 40 Prozent zu Buche und liegt damit fast gleichauf mit den Schäden durch Winterstürme (43 Prozent).

Wissensdefizit: Thema Hagel

Der Meteorologe Prof. Michael Kunz begann deshalb im Jahr 2010 nach einer Methode zu suchen, mit der sich die Hagelhäufigkeit und das Hagelrisiko, also das mögliche Schadensausmaß, besser einschätzen lassen. Heute können er und seine Mitarbeiter vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) tatsächlich mit relativ großer Sicherheit sagen, wo und wie häufig es besonders schwere Hagelereignisse gibt. Dafür haben die Experten ein Rechenmodell entwickelt, welches für ganz Deutschland die Hagelschlaggefahr und das Ausmaß möglicher Schäden ermitteln kann. Die Arbeit von Michael Kunz ist daher auch für Versicherungen interessant. „Hagel wird an konventionellen meteorologischen Bodenstationen nicht gemessen, ganz anders als Temperaturen oder Niederschläge“, sagt Michael Kunz. Was den Hagel angeht, mangelt es also an Daten, die aber dringend gebraucht werden.

Wichtige Daten für Versicherer

Versicherungen müssen beispielsweise wissen, welche Schäden sogenannte 200-jährliche Ereignisse verursachen können. Dabei handelt es sich um extreme Ereignisse, die rein statistisch nur einmal in 200 Jahren auftreten. Nach einem Reglement der Europäischen Union (Solvency-II-Verordnung) sind Versicherungen dazu verpflichtet, solche Schäden aus eigenen Mitteln bestreiten oder durch Rückversicherungen abdecken zu können. „Wenn wir wissen, in welcher Region wie häufig Hagelschauer zu erwarten sind, dann können wir diese Information mit Karten unseres Gebäudebestandes verknüpfen und so abschätzen, wie hoch die Schäden maximal sein werden“, sagt Dr. Klaus Zehner, stellvertretender Vorsitzender der SV Sparkassenversicherung in Stuttgart. „Die erforderlichen Informationen liefern uns Michael Kunz und seine Mitarbeiter mit ihrem Hagelschadenmodell.“ In diesem Modell verarbeitet Michael Kunz' Kollege Dr. Manuel Schmidberger Wetterdaten von den Radarstationen des Deutschen Wetterdienstes, die über Deutschland verteilt sind. Diese erfassen alle Niederschläge

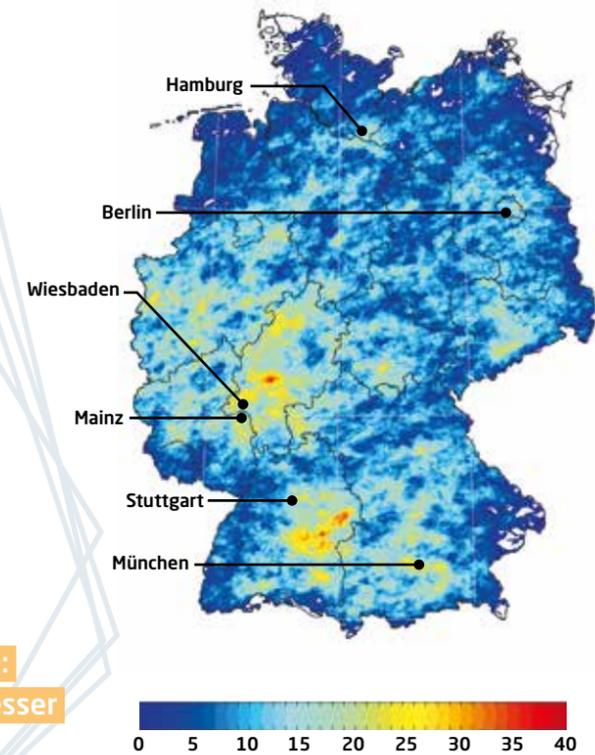


Größtes Korn: 14,1 cm Durchmesser

VON KLEIN BIS GANZ GROSS

Am 6. August 2013 fiel in Undingen auf der Schwäbischen Alb ein Hagelkorn mit einem Durchmesser von 14,1 Zentimetern vom Himmel. Solche riesigen Hagelkörner sind jedoch die Ausnahme. Bei etwa der Hälfte aller Hagelgewitter in Deutschland prasseln Eisklumpen mit einem Durchmesser von bis zu zwei Zentimetern auf die Erde nieder.

Durchschnittsgröße: etwa 2 cm Durchmesser



MEHR HAGELGEWITTER IM SÜDWESTEN

Diese Deutschlandkarte zeigt die Gesamtzahl der Sommertage mit Hagelgewittern im Zeitraum von 2005 bis 2018. Demnach hagelte es im Südwesten des Landes deutlich häufiger als im Norden oder Nordosten. Ursache dafür sind neben dem wärmeren Klima auch Höhenzüge wie der Schwarzwald oder der Spessart, an deren windabgewandter Seite Gewitter besonders oft entstehen.

und damit auch Hagel. Da Radardaten erst seit dem Jahr 2005 gespeichert werden, ist der Zeitraum bis heute zu kurz, um sichere Schlüsse über die Häufigkeit und Schwere von Hagelschauern ziehen zu können. Dennoch ist eine umfassende Analyse möglich. Dazu wird der Computer zunächst mit den wenigen Daten zu den realen Hagelereignissen in Deutschland gefüttert. Diese Ereignisse werden dann stochastisch über einen langen Zeitraum - z. B. über 10 000 Jahre - simuliert und somit vervielfältigt. Daraus kann das Computermodell dann errechnen, wie häufig Hagelstürme vorkommen, wo

diese entlangziehen und wie schwer sie sein können. Michael Kunz erklärt: „Auf Basis realer Ereignisse synthetisiert der Computer neue Hagelereignisse, die er dann über mehrere Tausend Jahre verteilt. Damit haben wir eine Fülle synthetischer Ereignisse, die es uns erlaubt, die Hagelgefährdung für jeden Standort in Deutschland abzuschätzen - ungeachtet dessen, ob dieser Ort in der Vergangenheit von einem Hagelsturm getroffen wurde oder nicht. Wichtig ist dabei, dass sich durch die synthetischen Hagelzüge die beobachtete Hagelklimatologie nicht verändert.“ In der Versicherungs-

wirtschaft ist die stochastische Simulation ein etabliertes Werkzeug, um die Häufigkeit und Schwere jener Schadensereignisse abzuschätzen, die sehr selten auftreten. „Wir können mit Hilfe des Hagelmodells inzwischen für Deutschland und Frankreich sehr gut die Breite, Länge oder Form der Zugbahnen von Hagelgewittern abschätzen“, sagt Kunz. Damit liefert das Rechenmodell jene Informationen, die Versicherer benötigen, um die Konsequenzen für die versicherten Objekte abzuschätzen. Neben der Sparkassenversicherung nutzen heute auch andere Unternehmen ähnliche Daten aus Karlsruhe.

VORAUSSGEDACHT

„Ausgedehnte Gewitterlagen werden in Deutschland oftmals durch großräumige Strömungen und Fernwirkungen in der Atmosphäre beeinflusst. In zehn Jahren wollen wir dieses Zusammenspiel so gut verstehen, dass wir robustere Aussagen über Änderungen und Trends der Gewitterhäufigkeit ableiten und die Hagelwahrscheinlichkeit genauer bestimmen können.“

MICHAEL KUNZ
Meteorologe am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



SCHADENSILANZ

In Deutschland richten schwere Gewitter mit Blitzeinschlägen, Hagel, Sturmböen und Sturzfluten nach Angaben der Münchener Rückversicherung immer mehr Schäden an. Das liegt zum einen an der steigenden Häufigkeit der Wetterextreme. Zum anderen sind Gebäude, Fahrzeuge oder Infrastrukturen heutzutage oftmals schadensanfälliger.

Hotspot: die Lee-Seite von Höhenzügen

Die Ergebnisse der Hagelanalysen zeigen unter anderem auch, dass Hagelstürme vor allem im relativ warmen Südwesten Deutschlands auftreten - und zwar insbesondere auf der windabgewandten, der Lee-Seite, von Höhenzügen wie dem Schwarzwald. Die feuchtwarmen Luftmassen, die meist aus südwestlicher Richtung kommen, ziehen in der Regel westlich und östlich am Schwarzwald vorbei. Auf der windabgewandten Seite stoßen sie wieder aufeinander und weichen dann nach oben aus. Auf diese Weise können sich große und hohe Gewitterwolken aufbauen. Damit steigt hier die Gefahr von Hagelschauern für Anwohner und Versicherer. „Michael Kunz schlägt mit seiner Arbeit eine Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft“, sagt Klaus Zehner. „Für mich ist dies ein sehr gutes Beispiel dafür, wie Wissenschaft in die Praxis hineinwirken kann.“

Vorhersagen noch nicht möglich

Die Schwerpunktregionen sind damit bekannt. Aber selbst die Karlsruher Experten können nicht sagen, wo genau ein Hagelschauer mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit niedergehen wird. Eine Information, die für verschiedene Anwendergruppen allerdings sehr interessant wäre. Denn zieht ein schweres Gewitter nur knapp an einer Stadt vorbei und trifft stattdessen beispielsweise ein Moorgebiet, sind die Schäden sehr viel geringer. Michael Kunz: „Hagelgewitter sind mehr oder weniger punktuelle Ereignisse. Die Vorhersage von Gewittern aber ist aufgrund der komplexen

Physik und der vielen beteiligten Prozesse sehr ungenau. Deshalb lässt sich auch der exakte Ort, an dem die größten Schäden auftreten könnten, nicht vorhersagen.“

Im REKLIM-Verbund sind Michael Kunz und seine Mitarbeiter auch der Frage nachgegangen, ob sich die Zahl der Gewitter in der Vergangenheit durch den Klimawandel verändert hat. Sie haben dafür Klimadaten der Kollegen vom Helmholtz-Zentrum für Küstenforschung in Geesthacht (HZG) genutzt. Diese modellieren mit ihrem coastDat-Programm das Klima in Europa in hoher räumlicher Auflösung. Die Simulationen liefern Kunz unter anderem Informationen über die vertikalen Feuchte-, Temperatur- und Windprofile der Atmosphäre in den vergangenen 50 Jahren. Von diesen Parametern hängt nämlich ab, ob sich ein Gewitter bildet und wie schwer es werden kann. Je instabiler die Schichtung der Atmosphäre, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich Wolken zu einem Gewitter aufbauen. „In den von uns ausgewerteten coastDat-Daten sehen wir für ganz Deutschland eine Zunahme von Gewitterlagen, insbesondere im Südwesten“, sagt Michael Kunz. Dieser Trend wird sich auch in Zukunft fortsetzen. Das zeigen Berechnungen regionaler Klimamodelle. Inwieweit die gewitterträchtigen Wetterlagen im Detail in Hagelstürme münden, sei hingegen nicht ersichtlich, weil man aus den Daten der Klimamodelle nicht auf jene komplexen physikalischen Vorgänge in den Wolken schließen könne, die zur Hagelbildung führen. Aber auch so ist der Trend klar: Mit den Gewittern nimmt auch die Gefahr schwerer Hagelstürme und somit das Schadensausmaß zu.

KOMPAKT

- Hagelschläge sind punktuelle Ereignisse, entladen sich kaum vorhersehbar und können immense Schäden anrichten. Meteorologen haben jetzt ermittelt, welche Regionen in Deutschland besonders gefährdet sind.
- Neue Rechenmodelle helfen dabei, das Hagelrisiko und das Ausmaß möglicher Schäden besser zu quantifizieren.
- Klimasimulationen aus dem REKLIM-Verbund zeigen, dass mit dem Klimawandel die Zahl der Gewitterlagen in ganz Deutschland zugenommen hat und weiter zunehmen dürfte. Besonders oft wird es auch künftig den Südwesten treffen.

Hagel entsteht in einer solchen amboßförmigen Gewitterwolke. Weil die physikalischen Prozesse der Gewitterbildung jedoch komplex sind, lassen sich Hagelschauer noch nicht punktgenau vorhersagen.

ZAHLEN, FAKTEN, DENKSTOFF

Erweitern Sie ihr Klimawissen mit den besten Informationsangeboten von REKLIM und seinen Partnern. Sie alle sind kostenlos erhältlich!

Aktuelles Klimawissen im Web

Wie schnell steigt der Meeresspiegel an der Nordsee? Wie entwickelte sich das Klima in Deutschland bislang und wie wird es sich künftig verändern? Antworten auf diese und viele andere Klimafragen liefern die Online-Infoplattformen der vier Helmholtz-Klimabüros, die REKLIM unterstützen.

- **Norddeutscher Klimamonitor** (norddeutscher-klimamonitor.de)
Veränderungen des Klimas in Norddeutschland seit 1951, eine Plattform des Norddeutschen Küsten- und Klimabüros und des Deutschen Wetterdienstes.
- **Küstenschutzbedarf an Nord- und Ostsee** (kuestenschutzbedarf.de)
Interaktive Karten zeigen, welche Regionen der deutschen Nord- und Ostseeküste heute durch Küstenschutzmaßnahmen vor Sturmfluten geschützt werden und welche Gebiete Ende des 21. Jahrhunderts voraussichtlich zusätzlich geschützt werden müssen – ein Infoservice des Norddeutschen Küsten- und Klimabüros.
- **meereisportal.de**
Tagesaktuelle Karten, monatliche Analysen und erläuternde Hintergrund-Artikel zur Entwicklung des Meereises in der Arktis und Antarktis – ein Info- und Datenportal des Klimabüros für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg, der Universität Bremen und REKLIM.
- **App „Dein Klima“**
erhältlich im App-Store. Welche Orte in Karlsruhe sind für das Klima der Stadt wichtig? Das Süddeutsche Klimabüro stellt sie in dieser App vor und inspiriert Nutzer, die Stadt mal mit anderen Augen zu sehen.
- **Regionaler Klimaatlas** (regionaler-klimaatlas.de)
Informiert über den aktuellen Forschungsstand zum künftigen Klimawandel im gesamten Bundesgebiet und auch für einzelne Bundesländer – ein Gemeinschaftsprojekt der vier regionalen Helmholtz Klimabüros.
- **Dürremonitor** (bit.ly/Duerremonitor)
Täglich aktualisierte Informationen zur Trockenheit der Böden in Deutschland – ein Angebot des Mitteldeutschen Klimabüros.

Fragen und Antworten zum Weltklimabericht

Der Weltklimabericht ist eine, wenn nicht die weltweit wichtigste Publikation in Sachen Klimawandel. Seine Ausführungen zu verstehen, kann Nicht-Wissenschaftler aber durchaus (über)fordern. Deshalb hat der Weltklimarat (IPCC) parallel zum ersten Teil seines fünfnten Sachstandberichtes die Antworten auf die 29 meistgestellten Fragen veröffentlicht. Diese im Original auf Englisch erschienene Faktensammlung haben REKLIM und Partner ins Deutsche übersetzt und veröffentlicht. Grundlagenwissen für alle, die in Sachen Klima mitreden wollen.

Klimaänderung 2013
Häufig gestellte Fragen und Antworten
Download unter: bit.ly/IPCCFuA



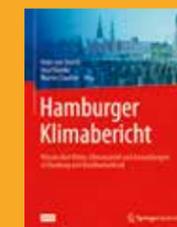
Aktuelles aus der Forschung

In jedem Jahr berichtet der Forschungsverbund im REKLIM-Report kompakt und aktuell über seine Forschungsaktivitäten, stellt Nachwuchswissenschaftler vor und was sich im Bereich des Wissenstransfers Neues entwickelt hat. Stöbern lohnt sich!

REKLIM-Reports
Download unter: bit.ly/REKLIM-Reports

Hitzewellen in der Elbmetropole

Das Thema Klimawandel interessiert im Großraum Hamburg nicht nur die Hochwasser erprobten Bewohner des Elbufers. In der Metropolregion leben mehr als fünf Millionen Menschen, deren Lebensumfeld sich im Zuge der globalen Erwärmung verändern wird. Welches Ausmaß diese Veränderungen vermutlich annehmen werden und was die Stadt selbst tun kann, um die Folgen abzumildern, fasst der **2. Hamburger Klimabericht** zusammen. 70 Autoren präsentieren darin das aktuelle Wissen zum Klimawandel im Großraum Hamburg – angefangen bei steigenden Fluss- und Meeresspiegeln über Hitzestress und Starkregen in der City bis hin zur Erklärung, warum der Stadtpark und andere Grünanlagen in langen Dürrezeiten unbedingt bewässert werden müssen. Die Arbeiten zu diesem Bericht wurden vom Norddeutschen Küsten- und Klimabüro koordiniert.



Hamburger Klimabericht
Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland.

Download unter:
bit.ly/Klimabericht



Ein Filmfestival für Zuhause

Sollte das Fernsehprogramm am Samstagabend mal wieder wenig überzeugen, dann veranstalten Sie doch ihr eigenes Klima-Kurzfilmfestival – gern auch mit der gesamten Nachbarschaft. Als Wettbewerbsteilnehmer gehen 13 Klima-Kurzfilme an den Start, die Studierende der DEKRA Hochschule für Medien gemeinsam mit REKLIM-Forschern gedreht haben. Auf den NATIVE-Veranstaltungen der Berlinale in Berlin kamen die Filme sehr gut beim Publikum an. Welches Votum gibt Ihre Jury ab?

Die REKLIM-Kurzfilme sind abrufbar unter bit.ly/REKLIM-Filme



Weitere Informationsangebote und -produkte finden Sie unter reklim.de/wissenstransfer



SCHICKSALHAFTE FERNBEZIEHUNG

Berlin liegt näher am Polarkreis als an Barcelona. Deshalb überrascht es kaum, dass die Arktis unser Klima in Mitteleuropa mitbestimmt. REKLIM-Forscher zeigen jetzt, wie der Rückgang des arktischen Meereises auch das Wetter in Deutschland verändert.

TEXT: TIM SCHRÖDER



„Im Grunde haben wir es heute mit einer neuen Arktis zu tun“, sagt Prof. Klaus Dethloff, Atmosphärenphysiker am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Potsdam. Er meint damit, dass die Arktis langsam aber unbestreitbar ihr Gesicht verändert: Das arktische Meereis zum Beispiel ist heutzutage viel dünner, jünger und beweglicher als noch vor 40 Jahren und damit besonders empfindlich. Die Eisdecke bricht bei Wind und Wellen leichter auseinander, beginnt früher im Jahr zu schmelzen und bildet sich erst viel später im Herbst oder Winter wieder neu. „Natürlich liegt auf der Hand, dass dieses Schrumpfen auch durch den vom Menschen verursachten Klimawandel beeinflusst wird“, sagt Klaus Dethloff. „Aber im Detail haben wir die Vorgänge zwischen Atmosphäre, Eis und Meer, die zum Rückgang des Eises führen, noch immer nicht richtig verstanden - so nimmt die Eismasse

tatsächlich schneller ab, als unsere Klimamodelle es errechnen.“

Die Arktis unter der Lupe

Klaus Dethloff und seine Potsdamer Kollegin Dr. Annette Rinke sind Pioniere. Bereits Anfang der 1990er Jahre entwickelten sie erste Computermodelle, mit denen sie das Schicksal der Arktis genauer zu verstehen versuchten. Dazu betrachten sie bis heute die arktische Region wie mit einer Lupe. Genauer gesagt, sie entwickeln regionale Klimamodelle, welche die Vorgänge vom Polarkreis bis zum Nordpol mit einer Maschenweite von derzeit 10 bis 20 Kilometern räumlich hoch auflösen. Die Regionalmodelle sind damit viel feiner als globale Klimamodelle, deren Auflösung nicht genügt, um das Nordpolargebiet im Detail zu analysieren.

„Regionales Arktis-Modell“, das klingt nach einem Blick durch ein enges Fenster, in eine

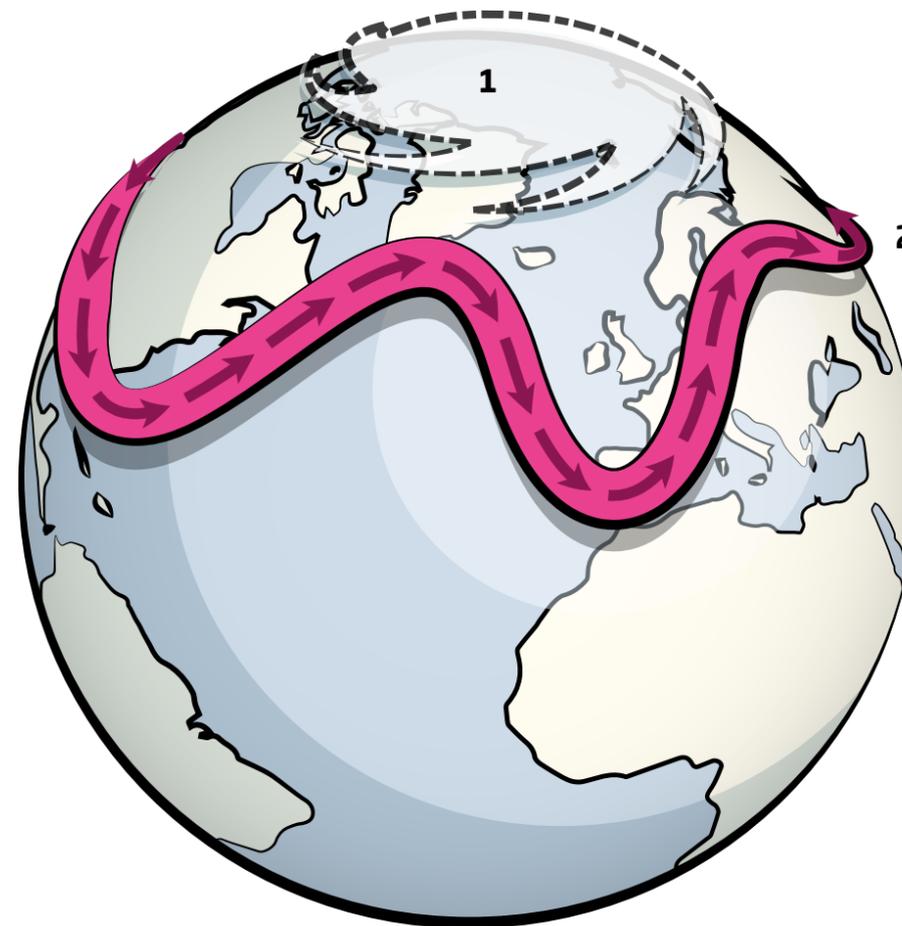
Je besser Wissenschaftler die Rolle des arktischen Meereises im Klimasystem der Erde verstehen, umso deutlicher wird: Die Ausdehnung und Dicke der Eisdecke beeinflussen die Wetterabläufe in Mitteleuropa in einem ganz entscheidenden Maße - im Winter genauso wie im Sommer.

extreme Region, die für uns in Deutschland kaum von Interesse zu sein scheint. Doch das täuscht. Denn in Sachen Klima sind die Arktis und Europa auf das Engste miteinander verknüpft. Insofern ist die Forschung der Potsdamer im REKLIM-Verbund für alle Menschen in Europa von großem Interesse. „Heute gilt als sicher, dass die Vorgänge und Veränderungen im Norden das Klima in Europa ganz entscheidend beeinflussen“, sagt Klaus Dethloff. „Es sieht so aus, als hätten die langanhaltenden stabilen und teils extremen Wetterlagen, wie wir sie in den vergangenen Jahren erlebt haben, darin eine Ursache“ – zum Beispiel treten Kaltlufteinbrüche in Mitteleuropa oder die schweren Winterstürme in den USA heute häufiger auf. Ganz offensichtlich gibt es eine schicksalhafte Fernbeziehung zwischen den mittleren Breiten und der Arktis.

Die Wetterschaukel zwischen Süd und Nord

Das Wetter und Klima in Europa werden durch weiträumige Luftströmungen und das Zusammenwirken von Hoch- und Tiefdruckgebieten beeinflusst. Ein Motor, der wesentlich zu Witterungsanomalien beiträgt, ist der mit der Polarfront verknüpfte Jetstream. Diese schnelle Luftströmung pfeift zwischen dem 40. und 60. Breitengrad von West nach Ost über der Nordhalbkugel. Der Jetstream mischt zum einen in der europäischen Wetterküche kräftig mit, indem er Tief- und Hochdruckgebiete hin und her schiebt. Zum anderen kann er vor allem im Winter wie ein Schutzschild warme Luftmassen aus dem Süden und kalte Polarluft aus dem Norden voneinander abgrenzen.

„Seit einigen Jahren aber beobachten wir immer häufiger, dass im Winter warme Luft aus dem Süden bis tief in die Arktis vorstößt“, sagt Annette Rinke. „An unserer deutsch-französischen Forschungsstation AWIPEV auf Spitzbergen liegen die Temperaturen dann sogar über Null.“ Der Jetstream, so scheint es, legt mittlerweile Pausen ein und versagt in dieser Zeit als Schutzschild. Ausgelöst werden diese Schwächephasen durch eine komplexe Reaktionskette in der Troposphäre, dem unteren Stockwerk der



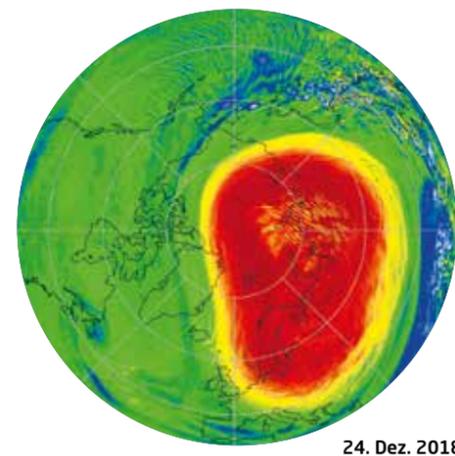
STRATOSPHERISCHER POLARWIRBEL (1)

Wenn die Luft über der Arktis im Herbst und Winter stark abkühlt, entsteht in einer Höhe von etwa acht bis zehn Kilometern ein Tiefdruckgebiet. Dieses kann bis in eine Höhe von 50 Kilometer reichen und wird als stratosphärischer Polarwirbel bezeichnet. Seine Luftmassen werden im Normalfall durch einen starken Westwind zusammengehalten, der wie ein Schutzschild verhindert, dass warme Luft aus den mittleren Breiten einströmt. Diese Barriere versagt jedoch, wenn planetare Wellen aus der darunterliegenden Troposphäre aufsteigen und wie Keile in den Wirbel eindringen. In diesem Fall kommt es zu einer plötzlichen Erwärmung in der Höhe – mit gravierenden Auswirkungen auf die Intensität und den Verlauf des Polarfront-Jetstreams in der Troposphäre darunter.

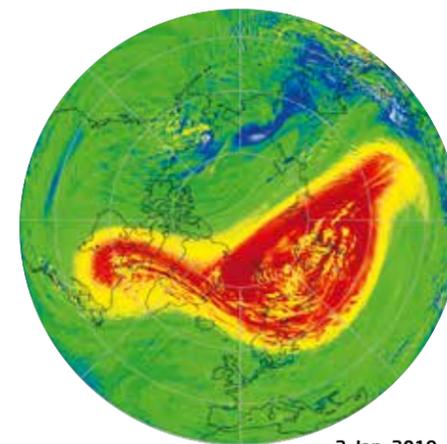
POLARFRONT-JETSTREAM (2)

Der Polarfront-Jetstream (oder auch Jetstream) ist ein Starkwindband (links), welches in etwa acht bis zehn Kilometer Höhe zwischen dem 40. und 60. Breitengrad weht. Der Wind erreicht Geschwindigkeiten von bis zu 500 Stundenkilometer und wird durch den Temperaturgegensatz zwischen den Tropen und der Arktis angetrieben. Ist dieser Unterschied groß, weht der Wind mit hohem Tempo parallel zum Äquator. Nimmt der Temperaturgegensatz ab, weil zum Beispiel das Meereis zurückgegangen ist, verlangsamt sich der Wind und weht im Schlangenkurs über die Nordhalbkugel (rechts).

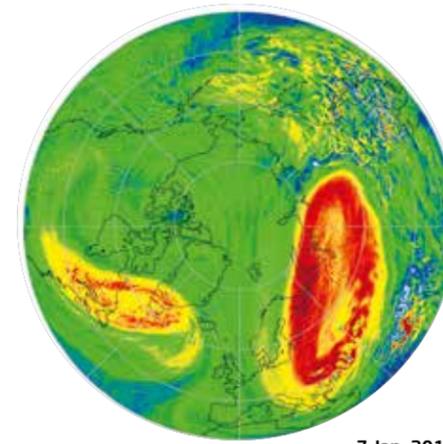
SO ZERFIEL DER POLARWIRBEL IM WINTER 2018/19



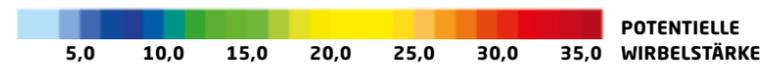
24. Dez. 2018



2. Jan. 2019



7. Jan. 2019



KOLLAPS IN DER HÖHE

Im Winter 2018/2019 wurden Meteorologen Zeugen, wie der stratosphärische Polarwirbel über der Arktis innerhalb weniger Tage zerfiel. Diese drei Darstellungen zeigen die potentielle Wirbelstärke des Tiefdruckgebietes in einer Höhe von 30 bis 35 Kilometern. Am 24. Dezember 2018 (l.) liegt der Wirbel noch als geschlossenes System über der östlichen Arktis. Neun Tage später, am 2. Januar 2019, zieht er sich bereits in die Länge (M.), um sich anschließend zu teilen (r.) Dieses Ereignis in der Stratosphäre führte anschließend u. a. zu einem außergewöhnlichen Kälteeinbruch in Nordamerika.

VORAUSSGEDACHT

Atmosphäre, und der darüberliegenden Stratosphäre.

AWI-Modellierer Dr. Ralf Jaiser hat herausgefunden, dass vereinfacht gesagt, folgendes passiert: Die Kraft und Ausdauer des Jetstreams in der Troposphäre hängen im Winter unter anderem von der Beständigkeit eines zweiten großen Wirbels ab. Dieser Polarwirbel bildet sich zum Ende des Sommers direkt über der Arktis, allerdings ein Stockwerk höher, in der Stratosphäre. Rotiert er mit voller Kraft, erreicht in der Regel auch der Jetstream im Stockwerk darunter Spitzengeschwindigkeiten. Teilt sich jedoch der Polarwirbel, geht dem Jetstream quasi die Luft aus. Nur was kann dem Polarwirbel gefährlich werden?

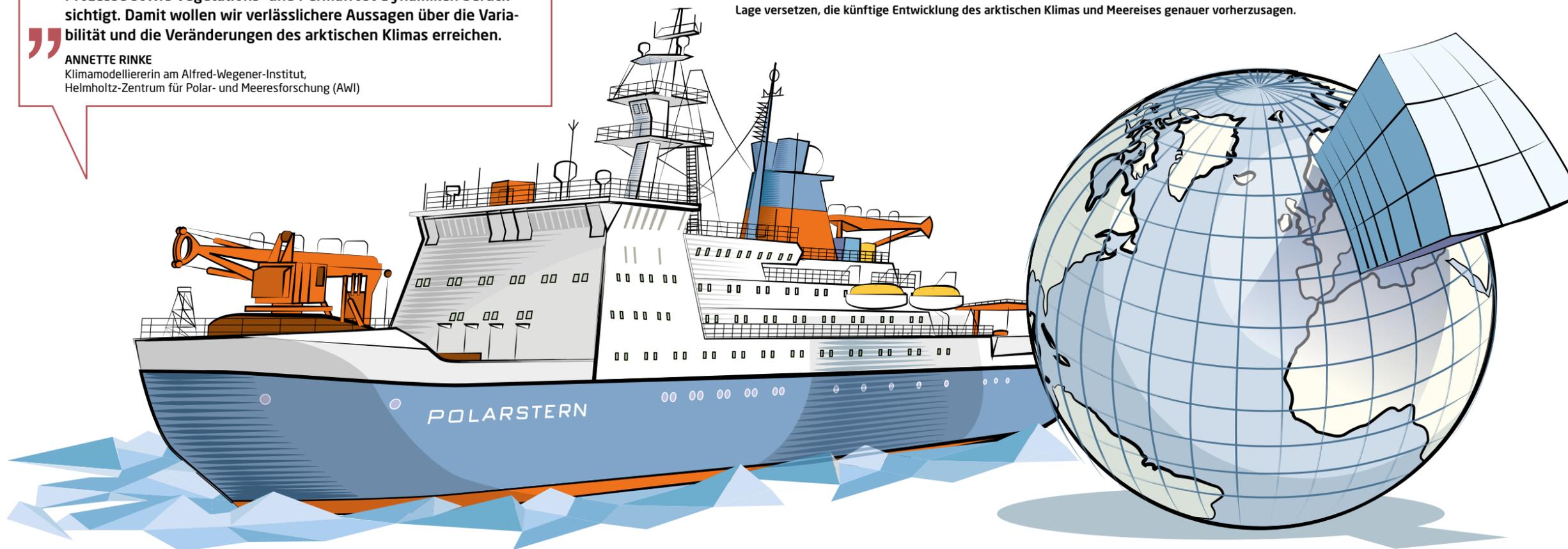
Eine Bedrohung geht von sogenannten planetaren Wellen aus. Gemeint sind großräumige Wellenbewegungen, die in der Troposphäre mit dem Westwind über den Globus wandern. Stößt diese Luftströmung auf ein Hindernis wie etwa ein Gebirge, weicht sie nach oben hin aus. Die Luftmassen darüber schiebt sie dabei gleich mit in die Höhe. Auf diese Weise kann es passieren, dass die Wirkung der aufsteigenden Welle bis in die Stratosphäre hinaufreicht und dort den Polarwirbel eindellt oder sogar teilt. Der Jetstream darunter verliert dann an Kraft und beginnt, im Schlangenkurs über die Nordhalbkugel zu wandern. Er mäandriert dann wie ein Fluss, der sich durch die Landschaft schlängelt, und erlaubt, dass mancherorts warme Luftmassen in die Arktis eindringen, während anderswo kalte Polarluft weit Richtung Süden vorstößt.

Details aus der Arktis, um die Welt zu verstehen

Lange konnten sich Forscher diese komplexen Veränderungen der Luftströmungen nicht wirklich erklären. Dank der Experimente mit mehreren, aufeinander aufbauenden Modellen aber durchschauen sie die Zusammenhänge langsam. So konnten Annette Rinke und ihre Kollegen mit dem regionalen Arktismodell zeigen, dass offenbar die Veränderungen in der Barentssee und Karasee nördlich von Norwegen und Sibirien eine große Rolle spielen. Weil das Meer dort heute

Was wollen wir in den kommenden 10 Jahren erreichen? Wir arbeiten an einem hochauflösenden Erdsystemmodell, welches neben der Atmosphäre, dem Eis und dem Ozean auch chemische Prozesse sowie Vegetations- und Permafrost-Dynamiken berücksichtigt. Damit wollen wir verlässlichere Aussagen über die Variabilität und die Veränderungen des arktischen Klimas erreichen.

ANNETTE RINKE
Klimamodelliererin am Alfred-Wegener-Institut,
Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)



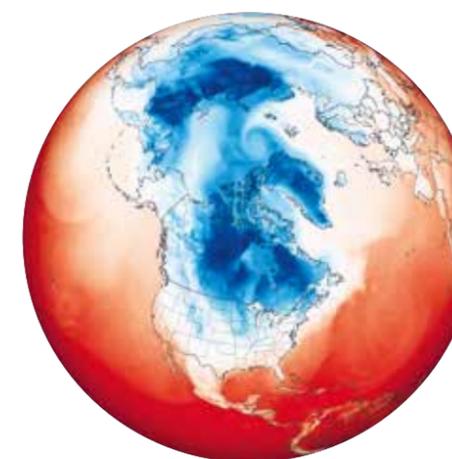
EINE EINMALIGE GELEGENHEIT

Genauere Einblicke in die Zusammenhänge zwischen dem Meereis der Arktis und den vielen Prozessen in der Atmosphäre darüber versprechen sich Wissenschaftler von der Arktis-Expedition MOSAiC, bei welcher der deutsche Forschungseisbrecher FS Polarstern ab September 2019 ein Jahr lang mit dem Meereis durch das Nordpolarmeer treiben wird. Die Wissenschaftler an Bord werden während dieser Zeit eine Vielzahl aktueller Eis- und Atmosphärendaten sammeln. Weitere Informationen unter: www.mosaic-expedition.org. Diese sollen die Klimamodelle in die Lage versetzen, die künftige Entwicklung des arktischen Klimas und Meereises genauer vorherzusagen.

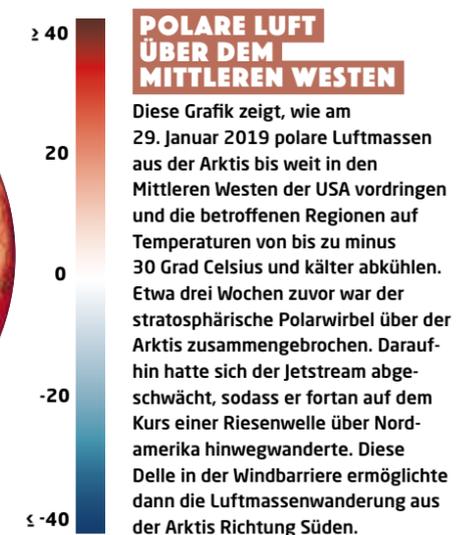
wärmer ist, friert es im Spätherbst langsamer zu. Dadurch können im Oktober und November mehr Wärme und Feuchtigkeit aus dem Meer aufsteigen als früher. Über der Region entsteht eine Art Wärmeglocke. Diese Veränderungen übertrugen Ralf Jaiser und seine Kollegen in ein globales Klimamodell, mit dem sie die großräumigen Auswirkungen simulieren. Die Wärmeglocke über dem Meer sowie die zusätzliche Feuchtigkeit führen ihren Erkenntnissen nach zu mehr Schneefall in Sibirien. Wärme und Schnee wiederum verstärken die Hochdruckgebiete zwischen Skandinavien und Sibirien. Der Jetstream wird dadurch nach Süden, teils auch nach Norden abgelenkt. Die Hochdruckgebiete bilden zudem ein

Hindernis für planetare Wellen. Wie in einer „Halfpipe“ schießen die aus Westen kommenden Luftpakete hier in die Höhe und erhalten genügend Auftrieb, um den Polarwirbel in der Stratosphäre zu zerstören. Dem Jetstream im Stockwerk darunter wird so quasi der Stecker gezogen. Die Folgen dieser Reaktionskette sind auf der gesamten Nordhalbkugel zu spüren. Zwischen Grönland und Skandinavien stößt warme Luft in die Arktis vor, in Europa und Asien dagegen bibbern die Menschen wochenlang vor Eiseskälte. Zudem schwächen sich die für Europa so wichtigen Westwinde über dem Atlantik ab. So können sich Wetterlagen für längere Zeit über Europa stabilisieren und festsetzen.

JANUAR 2019 REKORDKÄLTE IN KANADA UND DEN USA



Lufttemperatur in zwei Meter Höhe (in Grad Celsius)



„Dieses Beispiel zeigt, dass unsere regionalen und globalen Klimamodelle helfen, Rückkopplungsprozesse zwischen der Atmosphäre und dem Meereis-Ozean-System zu verstehen und Zusammenhänge zwischen der arktischen Region und Mitteleuropa zu erkennen und langfristig die Wettervorhersagen zu verbessern“, sagt Annette Rinke.

Mit Messdaten die Modelle schärfen

Noch aber decken sich die Modellergebnisse der Potsdamer Wissenschaftler nicht hundertprozentig mit der Realität. Es ist deshalb wichtig, die Modelle mit realen Messwerten zu speisen, damit sie so naturgetreu wie möglich arbeiten. Doch für die Arktis gibt es nur von sehr wenigen Orten Messwerte. Ende der 1990er Jahre etwa kooperierten die Potsdamer mit russischen Forschern, die sich in jedem Winter auf einer großen Eisscholle durch die Arktis treiben ließen, um dort Atmosphäre, Eis und Meer zu vermessen. Auch diese Daten sind in das regionale Arktis-Modell eingeflossen. „Je mehr Messwerte wir haben, desto besser können wir die Prozesse in der Arktis physikalisch beschreiben. Stück für Stück werden die Modelle dadurch genauer“, sagt Annette Rinke.

Um ihre Modelle zu perfektionieren, wollen die AWI-Forscher künftig auch Daten nutzen, die während der bislang größten, internationalen Expedition in die zentrale Arktis – Projektname MOSAIC – gesammelt werden sollen: Das deutsche Forschungsschiff FS Polarstern wird sich im September 2019 im Meereis der Ostsibirischen See einfrieren lassen und ein Jahr lang mit dem Eis über den Arktischen Ozean treiben. Mehrere hundert Wissenschaftler aus 17 Ländern werden in dieser Zeit Meer, Eis und Atmosphäre vermessen und einzigartige Daten sammeln. „Wir hoffen, die Vorgänge in der Arktis zwischen Atmosphäre und Meer damit künftig deutlich besser simulieren zu können; und auch zu klären, wann oder warum es dort mal mehr oder weniger Eis gibt“, sagt Annette Rinke. „Denn davon wird entscheidend abhängen, wie sich das Klima und das Wetter in den kommenden Jahrzehnten bei uns entwickeln.“



Die neuen Forschungsergebnisse aus der Arktis untermauern die Kernbotschaft der Friday-4-Future-Demonstrationen. Der Klimawandel bedroht die Zukunft der Menschheit. Der einzige Ausweg: die sofortige Reduktion der weltweiten Kohlendioxidemissionen.

KOMPACT

- Durch die Abnahme des arktischen Meereises gelangen mehr Wärme und Feuchte aus dem Meer in die Atmosphäre. Dadurch verändern sich Luftströmungen zwischen der Arktis und den mittleren Breiten - und so auch das Klima in Europa.
- Um die Entwicklung der Arktis besser vorhersagen zu können, wurden regionale Klimamodelle entwickelt. Sie stellen die Prozesse und Wechselwirkungen zwischen Ozean, Eis und Atmosphäre genauer dar als globale Klimamodelle.
- Der Meereis-Rückgang kann zu weiträumigen Temperatur- und Luftdruckänderungen führen. In Europa, aber auch in Asien und Nordamerika kann es im Winter vermehrt zu Kaltlufteinbrüchen kommen, in der Arktis dagegen wird es wärmer.

PRAXISBEZUG

DIE JAHRESZEITEN-VORHERSAGE VERBESSERN

Regionale Modelle wie das AWI-Arktismodell helfen dabei, globale Klimarechnungen zu verbessern. Von dieser Optimierung profitieren auch Institutionen wie der Deutsche Wetterdienst (DWD), der seit 2016 eine Jahreszeitenvorhersage als operationellen Klimateil anbietet und diesen über ein Webportal zugänglich macht, sagt die DWD-Meteorologin Dr. Barbara Früh.

► **Die Forscherinnen und Forscher am Alfred-Wegener-Institut versuchen herauszufinden, wie die Klimaänderungen in der Arktis mit dem Wetter und dem Klima in Mitteleuropa verbunden sind. Dafür setzen sie regionale Klimamodelle ein, die die Arktis räumlich genauer auflösen als die globalen Modelle. Inwieweit können diese detaillierten Modellierungen Ihre Arbeit unterstützen?**

Barbara Früh: Eine genaue räumliche Auflösung hilft dabei, die physikalischen Prozesse in der Arktis und die Eisdynamik im Detail besser zu verstehen. Das Wissen um diese Mechanismen kann dann genutzt werden, um die globalen Klimamodelle zu verbessern. Es ist so, dass die globalen Klimamodelle bestimmte physikalische Vorgänge für die Arktis nicht im Detail berücksichtigen. Betrachtet man die natürlichen

Prozesse aber genauer, dann kann man ein besseres Verständnis darüber entwickeln und eine verbesserte statistische Beschreibung dieser Prozesse, wir nennen das Parametrisierung, in die globalen Modelle einfließen lassen.

► **Und inwieweit kann der Deutsche Wetterdienst von dieser grundlegenden Verbesserung der globalen Klimamodelle profitieren? Immerhin müssen Sie ja Vorhersagen für eine relativ kleine Region treffen, nämlich Deutschland beziehungsweise Mitteleuropa.** Dank verbesserter globaler Modelle können wir natürlich auch die Situation für unsere Region besser einschätzen. Der Deutsche Wetterdienst berechnet seit 2016 zusammen mit der Universität Hamburg und dem Max-Planck-Institut für Meteorologie

Jahreszeitenvorhersagen und bietet diese über ein Webportal an. Dieses ist öffentlich und gibt für die nächsten Monate im Voraus eine Abschätzung, wie sich die Witterung höchstwahrscheinlich entwickeln wird. Die Nutzer werden über einen „Feedback“-Button explizit dazu aufgefordert, die Leistung des Portals zu bewerten. Im Detail gibt das hinter den Jahreszeitenvorhersagen liegende Klimarechenmodell eine Vielzahl realistischer Prognosen ab, die insgesamt Rückschlüsse darüber zulassen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die kommenden drei Monate zum Beispiel trockener oder feuchter, wärmer oder kälter als im langzeitlichen Mittel werden. Die Jahreszeitenvorhersage ist eine fortlaufende, operative Aufgabe des DWD, bei der wir das speziell angepasste Klimarechenmodell ständig verbessern. Um es auf den Punkt zu bringen: Je besser das zugrundeliegende globale Modell ist, desto sicherer wird künftig auch die Jahreszeitenvorhersage sein.

► **Das heißt also, dass Sie die Erkenntnisse aus der Arktis nicht direkt nutzen?**

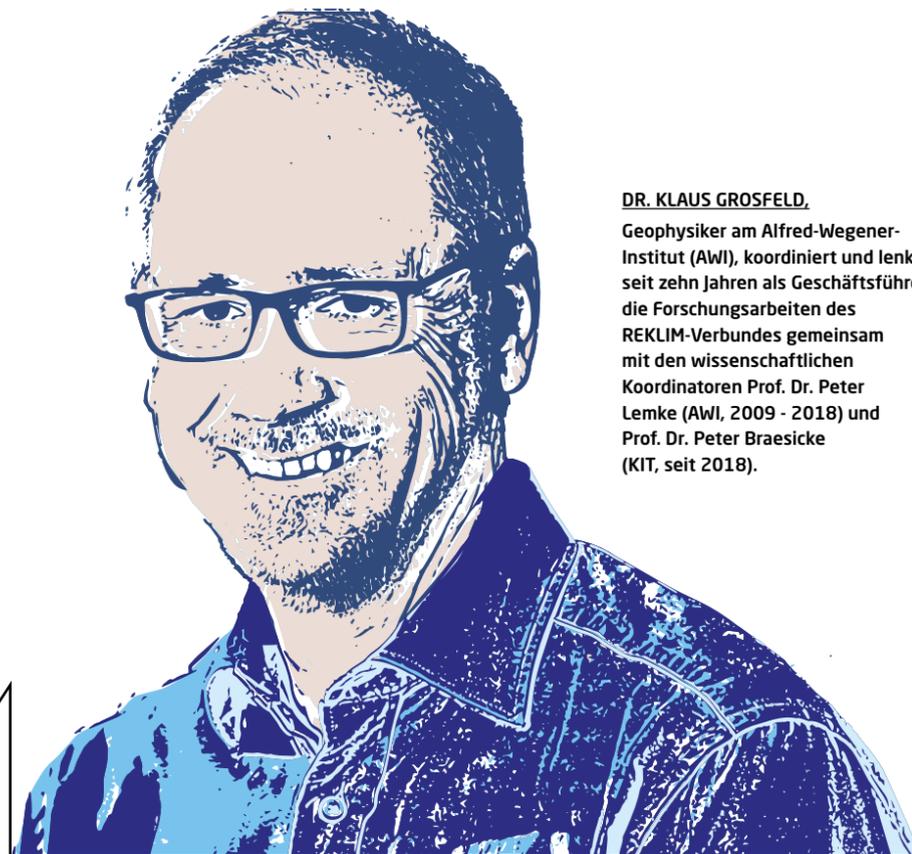
Das ist richtig. Obwohl wir wissen, dass die Arktis und Europa über sogenannte Telekonnektionen miteinander verbunden sind, benötigen wir das globale Modell, um alle Einflussfaktoren zu berücksichtigen, die in Mitteleuropa das Wetter bestimmen. Etwa die Entwicklung der Hoch- und Tiefdrucklage über dem Atlantik. Dennoch sind die Erkenntnisse, die mit regionalen Modellen wie dem regionalen Arktismodell gewonnen werden, sehr wichtig, um den Gesamtzusammenhang besser zu verstehen. ■



BARBARA FRÜH leitet seit mehr als zehn Jahren das Sachgebiet „Klimavorhersagen und Klimaprojektionen“ beim Deutschen Wetterdienst. Das DWD-Portal zur Jahreszeitenvorhersage finden Sie unter dwd.de/jahreszeitenvorhersage.



ES LOHNT SICH, ETWAS ZU TUN!



DR. KLAUS GROSFELD,
Geophysiker am Alfred-Wegener-Institut (AWI), koordiniert und lenkt seit zehn Jahren als Geschäftsführer die Forschungsarbeiten des REKLIM-Verbundes gemeinsam mit den wissenschaftlichen Koordinatoren Prof. Dr. Peter Lemke (AWI, 2009 - 2018) und Prof. Dr. Peter Braesicke (KIT, seit 2018).

Angesichts von Hitzerekorden und Wetterextremen ist Klimaforschung heute wichtiger als je zuvor. REKLIM-Geschäftsführer Klaus Grosfeld sieht deshalb auch die Wissenschaft in der Verantwortung und setzt auf die Stärken des Verbundes.

WICHTIGE FRAGEN STELLEN

Wissenschaft war und ist immer ein wichtiger Motor für die Entwicklung der Zivilisation, aber auch Wegbereiter, um Lösungen für gesellschaftliche Fragen und Herausforderungen zu finden. Zu diesen gehört im 21. Jahrhundert in hohem Maße auch der von uns Menschen verursachte Klimawandel. In REKLIM erarbeiten wir Wissen, das als Grundlage für Entscheidungsprozesse genutzt werden kann. Antworten finden, den Klimawandel, seine Ursachen und seine Folgen um uns herum verstehen und Wege aufspüren, um Handlungsoptionen aufzuzeigen - dies treibt den Forschungsverbund seit zehn Jahren an. Gemeinsam mit hochmotivierten Kolleginnen und Kollegen aus neun Helmholtz-Forschungszentren wollen wir den Verbund in diesem Kontext thematisch weiter ausgestalten und dadurch erfolgreich weiterentwickeln. Forschung für uns heißt: Verantwortung für die Zukunft zu tragen. ■

HEIMAT

Ziel von REKLIM ist es, die regionalen Auswirkungen des Klimawandels in Reaktion auf die globale Erwärmung zu untersuchen und zu quantifizieren, denn der globale Wandel ist ein abstraktes Schlagwort. Jeder Mensch erlebt nur die regionalen Auswirkungen des Klimawandels. Sie beeinflussen sein Lebensumfeld. Sei es als Landwirt, der die zunehmende Trockenheit zu spüren bekommt, oder als Mensch an der Küste, der mit dem steigenden Meeresspiegel leben muss. Uns geht es hierbei aber nicht nur um begrenzte geographische Gebiete, sondern darum, übertragbare Erkenntnisse zu erlangen. Mit diesen wollen wir dazu beitragen, bessere Vorhersagen für zukünftige Klimaentwicklungen zu machen, die auch zu einem verbesserten Klimaschutz und zu effektiven Anpassungsmaßnahmen führen. ■

IN KONTAKT TRETEN

Um etwas gegen den Klimawandel und seine Auswirkungen zu tun, müssen die wichtigsten Akteure aus Politik, Wirtschaft, Gesellschaft und Wissenschaft in Dialog treten. Hier arbeitet der Verbund erfolgreich mit einer großen Bandbreite an Aktivitäten und Formaten und wird dies auch in Zukunft tun. So ist ein intensiver Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft entstanden, der Forschung in die Mitte der Gesellschaft rückt und die Ergebnisse in die Umsetzung bringt. REKLIM geht hier innovative Wege, von Filmprojekten bis hin zu Informationsportalen. Die Hauptadressaten sind dabei Entscheidungsträger in öffentlichen nationalen oder internationalen Einrichtungen, die für die Umsetzung von Umwelt- und Ressourcenpolitik Verantwortung tragen, sowie die an Umweltfragen interessierte Öffentlichkeit. ■

MITMACHEN

Das Klimaschutzziel der Bundesregierung, die Emissionen bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 bis 95 Prozent zu reduzieren, kann nur durch eine grundlegende Transformation der Gesellschaft erreicht werden. Eine Aufgabe, die uns vor gewaltige wirtschaftliche, politische und auch gesellschaftliche Herausforderungen stellt, weil alle Beteiligten oft eigene und zum Teil durchaus gegensätzliche

Klimaforschung hat sich in den letzten Jahren zu einer „Systemwissenschaft“ entwickelt, bei der es um das gesamte Klima- bzw. Erdsystem geht. Sie stellt heute eine hoch interdisziplinäre und extrem problemgetriebene Wissenschaft dar. REKLIM hat hier von Beginn an Maßstäbe gesetzt. Die beteiligten Helmholtz-Zentren bringen ihre Spezialkenntnisse in verschiedenen Zweigen der Klimaforschung, wie z. B. der Atmosphären-, Polar- oder Bodenforschung ein. REKLIM wirkt hier wie ein Schmelztiegel für die Spezialkenntnisse, um die Wechselwirkung zwischen den einzelnen Klimakom-

GEMEINSAM

ponenten besser zu verstehen, um Klimatrends zu bestimmen und zu entschlüsseln. Es sind aber auch neue Formen der Zusammenarbeit mit Experten aus anderen Bereichen erforderlich, wie z. B. den Gesellschafts-, Wirtschafts- und Politikwissenschaften. REKLIM bietet diese Möglichkeit der Zusammenarbeit über thematische Grenzen hinweg. ■

Interessen verfolgen. Angesichts dieser Ausgangslage ist es wichtig, dass Klimaforschung sowohl die wissenschaftlichen Grundlagen und Randbedingungen als auch die Perspektiven und Potentiale aufzeigt. Wir müssen den Menschen gute Argumente an die Hand geben und insbesondere auch die junge Generation dabei unterstützen: Es lohnt sich, etwas zu tun - und den

dringend benötigten gesellschaftlichen Wandel voranzutreiben. Der Verbund arbeitet hier in ganz unterschiedlichen Projekten, um das notwendige Wissen in die Gesellschaft einzubringen. Es geht also darum, dass auch wir uns als REKLIM intensiv im Bürgerdialog, in der Politikberatung und für eine nachhaltige Veränderung unserer Gesellschaft engagieren. ■

HERAUSGEBER:

**REKLIM - Helmholtz-Verbund Regionale
Klimaänderungen**

REKLIM-Koordinationsstelle
Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum
für Polar- und Meeresforschung
Am Handelshafen 12 27570 Bremerhaven

REDAKTIONELLE LEITUNG

Klaus Grosfeld, Renate Treffeisen, Sina Löschke

AUTOREN

Katja Trippel (textetage.com),
Tim Schröder (schroeder-tim.de),
Sina Löschke (schneehohl.net), Renate Treffeisen

BILDREDAKTION

Sina Löschke

DESIGN UND LAYOUT

Melanie Wolter (frauwolter.de)

INFOGRAFIKEN

Martin Künsting (illus.kunsting.com), Melanie Wolter

WISSENSCHAFTLICHE BERATUNG

Peter Braesicke, Achim Brauer, Hendrik Elbern,
Frauke Feser, Klaus Grosfeld, Birgit Heim, Michael Kunz,
Andreas Marx, Beate Ratter, Annette Rinke, Burkhard
Rockel, Torsten Sachs, Ingo Sasgen, Hans Peter Schmid,
Reimund Schwarze, Ralf Tiedemann, Renate Treffeisen

REDAKTIONELLER STAND

Mai 2019

doi.org/10.2312/reklim-magazin-2019

HEFTBESTELLUNG

Das REKLIM-Magazin kann kostenlos bestellt werden.

Bestellungen senden Sie bitte an die

REKLIM-Koordinationsstelle (E-Mail: info@reklim.de).

Eine PDF des Magazins steht unter reklim.de zum

Herunterladen zur Verfügung.

DRUCK

BerlinDruck GmbH + Co KG

Oskar-Schulze-Straße 12 28832 Achim

Das REKLIM-Magazin wurde klimaneutral gedruckt

auf FSC®-zertifiziertem Recyclingpapier der

Firma IGEPA (Circle offset Premium White), welches zu

100 Prozent aus Altpapier hergestellt wurde. Für den

Druck wurden ausschließlich mineralölfreie

Farben verwendet.



BILDNACHWEIS

- **Titel** - Melanie Wolter
- **Einleitung** - S. 1, o.: André Künzelmann / UFZ; 2. v. o.: Torsten Sachs / GFZ; 3. v. o.: Ernst Fesseler; 4. v. o.: DLR CC-BY 3.0; u.: Thomas Ronge / AWI
- **Inhaltsverzeichnis** - S. 2, o.: Jochen Tack / Alamy; m. l.: Jan Woitas / dpa; m. r. WWF; u. l.: Martin Wiesmeier; u. r.: Ian Joughin / imageo.egu.eu; S. 3, o.: Uwe Nettelmann / AWI
- **Trockenheit und Sternenstaub** - S. 4-5: Patrick Pleul / dpa; S. 6-7: Marcus Siebert / Alamy; S. 8, o.: Martin Schrön / UFZ; S. 8, u.: Martin Künsting; S. 9, o.: Dürremonitor / UFZ; S. 11, Jochen Tack / Alamy
- **Jedes Detail zählt** - S. 12-13: Bosse und Meinhard; S. 14-15: Melanie Wolter (Illustrationen)
- **Der Boden zieht um** - S. 16-17: Michael Dannenmann / KIT; S. 16, kl.: xulescu_g / Flickr CC-BY-SA; S. 18, alle Aufnahmen: Carsten Müller; S. 19: Martin Künsting; S. 20, o.: Ralf Kiese / KIT, u.: Martin Wiesmeier; S. 21, Marcus Zisti-Schlingmann / KIT
- **Auf Fake News zum Klima...** - S. 22, o.: Saskia Busler; l. u.: Steve Küter; l. r.: Saskia Busler; S. 23, l.: Urs Kuckertz; o.: Saskia Busler; u.: Monja Gieschen; S. 24, o. l.: Donia Hergli; o. r.: Saskia Busler; u. l. Mario Hoppmann / AWI; u. r.: Timo Liebergesell; S. 25, o. l.: Anna Menne; r.: Kerstin Rolfes; u.: Sophie Bußmann
- **Stürmische Zeiten?** - S. 26-27: Uwe Nettelmann / AWI; S. 27, u.: Sebastian Seemann / Fotolia; S. 28-29, l.: DWD / Archiv; o. + r.: Birger Tinz / DWD u.: Thomas Möller / DWD; S. 30, o.: Cassie Boca / Unsplash.com; r.: Gesa Seidel / HZG
- **Die Überfliegerin** - S. 32-33: alle Katrin Kohnert / GFZ; S. 34, o.: Torsten Sachs / GFZ; kl. Katrin Kohnert / GFZ; S. 35, Martin Künsting; S. 36, o.: Torsten Sachs / GFZ; kl.: Daniela Franz / GFZ; S. 37, o.: Martin Künsting nach einer Vorlage von Global Carbon Project; u.: Torsten Sachs / GFZ; S. 38, o.: Marcel Ludwig / GFZ; kl.: Paul Overduin / AWI; S. 39, l.: Bärbel Kosanke; r.: Jan Kraus
- **#klimafit** - Eine Idee wird groß - S. 40: WWF; S. 41: Amin Bobsien; S. 42 + 44: Eli Breuing, Marie-Pascale Gafinen, Angela Gerlach, Tina Nispel Agentur Riesenspatz Hamburg (Graphical Recording)
- **Seid bereit!** - S. 46-47: André Künzelmann / UFZ; S. 48-49: alle Hendrik Schmidt / dpa; S. 51: Melanie Wolter nach einer Vorlage von Tim Schröder
- **Die Reise der Schadstoffe** - S. 52-57: Melanie Wolter
- **Auf die Waage, bitte!** - S. 58: Annie Spratt / Unsplash.com; S. 60, o.: Jeremy Harbeck / NASA; u.: Bill Ingalls / NASA; S. 61: Martin Künsting / Fabian Korries; S. 62, o.: Martin Künsting; S. 63, o.: Ian Joughin / imageo.egu.eu; Icons: Martin Künsting; S. 64: Jeremy Harbeck / NASA; S. 65: NLWKN / Lippe
- **Eine Frage der Perspektive** - S. 66-67: Till Laßmann (Illustrationen)
- **Trigger gesucht** - S. 69: Kerstin Rolfes; S. 70: Merlin Meister / GFZ
- **Aus heiterem Himmel** - S. 72-73: Rodger Mallison / Picture Alliance / newscom; S. 74, o. + u.: Pixabay.com; m.: Martin Künsting; S. 75, o. l.: Melanie Wolter; o. r.: Michael Kunz / KIT; S. 76: SturmjaegerTobi / Pixabay
- **Zahlen, Fakten, Denkstoff** - S. 78-79: alle Freisteller Mariette Weigelt / AWI; Szenen aus den REKLIM-DEKRA-Kurzfilmen
- **Schicksalhafte Fernbeziehung** - S. 80-87: Alle Illustrationen: Martin Künsting; S. 82-83, u.: Andreas Dörnbrack / DLR; S. 86, u.: NASA Earth Observatory / Joshua Stevens; S. 87, Barbara Früh (privat)
- **Es lohnt sich etwas zu tun** - S. 88-91: alle Illustrationen: Melanie Wolter (S. 88 nach einer Fotovorlage von Kerstin Rolfes)

ABKÜRZUNGEN ERKLÄRT

S. 12: **TERENO** wird als Abkürzung für „Terrestrial Environmental Observatories“ verwendet. Mehr Informationen zum Messnetzwerk gibt es im Internet unter tereno.net.

S. 19: **SUSALPS** steht für „Sustainable Use of Alpine and Pre-alpine Grassland Soils in a Changing Climate“. In dem Projekt arbeiten Fachleute aus Forschung, Verwaltung und Wirtschaft zusammen. Mehr Infos unter susalps.de

S. 56: Der Name des Luftschadstoff-Modells **EURAD-IM** lautet in Langform „European Air Pollution Dispersion - Inversive Model“. Mehr Informationen zu seinem Einsatz finden Sie zum Beispiel unter eurad.uni-koeln.de